

# Materia Japan

- 第23回優秀ポスター賞受賞者紹介
- 小特集「自動車用の材料技術について」
- 瞬間発熱多層膜の創製とデバイス実装応用
- 講義ノート 材料の組織形成とその理論 第5回  
～析出線近傍での核生成～

# まてりあ

Vol.53 MTERE2 53 (12) 581~644 (2014)

2014 **12**

創業1921年

# ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
<b>純金属</b>			<b>高純度金属</b>			<b>フェロアロイ</b>		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	フェロモリブデン	Mo 60%	塊状
アルミニウム	99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	フェロニオブ	Nb 60%	〃
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒状	フェロバナジウム	V 80%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉末	ビスマス	99.999%	粒状100g入	フェロボロン	B 20%	〃
銀	99.99%	粒状	ビスマス	〃	約100g塊	カルシウムシリコン	Ca30%Si60%	小块状
ポロクリスタル	99.4%	小块状	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄片状	<b>中間合金</b>		
ポロンアモルファス	95~97%	粉末	無酸素銅	99.99%	10X10X1mm	燐	P >14.5%	粒状
ビスマス	99.99%	針状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25X25X2mm	シリコン	Si 15%	約1kgインゴット
コバルト	99.3%	粒状	ガリウム	99.999%	粒状25g入	マンガン	Mn 25%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25X25X10mm	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	マグネシウム	Mg 50%	〃
金属クロム	99%	塊状	インジウム	99.999%	粒状100g入	クロム	Cr 10%	〃
電解クロム	99%	薄片状	インジウム	〃	約100g塊	テール	Te 50%	〃
クロム粉	99%	粉末500g入	マンガン	99.999%	薄片状	コバルト	Co 10%	〃
電気銅	99.99%	約25X50X10mm	錫	99.999%	粒状100g入	ニッケル	Ni 30%	〃
銅	99%	粉末500g入	アンチモン	99.999%	約100g塊	鉄	Fe 10%	〃
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	アンチモン	〃	約100g塊	チタン	Ti 50%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テール	99.999%	約100g塊	ジルコニウム	Zr 50%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	ル	〃	約100g塊	ボロン	B 2%	粒状
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	亜鉛	99.999%	約100g塊	アルミ	Cu 40%	約5kgインゴット
ハフニウム	99.8%	スポンジ小块	亜鉛	〃	約100g塊	アルミマグネシウム	Mg 20%	〃
インジウム	99.99%	塊状	亜鉛	〃	約100g塊	アルミマンガン	Mn 10%	〃
マグネシウム	99.9%	約200g塊	亜鉛	99.999%	粒状100g入	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解マンガン	99.9%	薄片状	亜鉛	〃	約100g塊	アルミクロム	Cr 5%	〃
モリブデン粉	99.9%	粉末	亜鉛	〃	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	〃
ニオブグラニュー	99.9%	小块	タ	99.9%	5φX150mm	アルミシリコン	Si 25%	〃
ニオブ粉	〃	粉末	<b>レアアースメタル</b>			アルミコバルト	Co 5%	〃
電気ニッケル	99.99%	25X25X10mm	イットリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルモリブデン	Mo 5%	〃
ニッケルベレット	99.97%	球状	ランタン	〃	〃	アルミタングステン	W 2.5%	〃
ニッケル粉	99.8%	粉末1kg入	セリウム	〃	〃	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
レニウム粉	99.99%	粉末	セラジウム	〃	〃	アルミ鉄	Fe 50%	塊状
ルテニウム粉	99.9%	〃	ネオジウム	〃	〃	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
アンチモン	99.9%	塊状	サマリウム	〃	〃	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
金属シリコン	99%	〃	イッテルビウム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	小块状
錫	99.99%	約1kgインゴット	テール	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
タンタル塊	99.9%	小块状	ジスプロシウム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
タンタル粉	〃	粉末	ホルミウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	塊状
テール	99.99%	小球状	エルビウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	〃
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ガドリニウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	約1.5kgインゴット
チタン粉	99%	粉末500g入	ユーロピウム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	塊状
チタン板	JIS 1種	250X250X1mm	ツリウム	〃	〃	燐	P 5%	インゴット
バナジウム粉	99.7%	小块状	ルテチウム	〃	〃	<b>Uアロイ(低融点合金)</b>		
バナジウム粉	〃	粉末	ミッシュメタル	TRE > 97%	5.4φX6mm 1kg入	Uアロイ 47	融点47±2°C	約500gインゴット
タングステン粉	99.9%	〃				Uアロイ 60	60±2°C	〃
タングステンクラップ	99%	板状				Uアロイ 70	70±2°C	〃
亜鉛	99.99%	約2kgインゴット				Uアロイ 78.8	78.8±2°C	〃
亜鉛粒	〃	粒状				Uアロイ 91.5	91.5±2°C	〃
ジルコニウム	99.6%	スポンジ塊				Uアロイ 95	95±2°C	〃

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

「社名」または「大学名」、および「所属と名前」、個人の方は「名前」  
「郵便番号・住所・電話・FAX」・「商品名・純度・形状・希望数量」

FAX (03)  
**3294-9336**

株式会社 **平野清左衛門商店**  
〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL(03)3292-0811

- 土曜・日曜・祭日休業
- 手形取引はいたしません
- 輸出はせず国内取引のみ

◎ 会告原稿締切：毎月1日



翌月号(1日発行)掲載です。

- 支部行事：[shibu@jim.or.jp](mailto:shibu@jim.or.jp)
- 本会記事：[stevent@jim.or.jp](mailto:stevent@jim.or.jp)
- 掲示板：[materia@jim.or.jp](mailto:materia@jim.or.jp)

表彰 第23回日本金属学会講演大会優秀ポスター賞受賞者……………581

## 小特集「自動車用の材料技術について」

企画にあたって 須藤祐司 寺山 朗 廣澤渉一 本間智之 ……………	583
自動車用ハイテン材の現状 齋藤和也 ……………	584
自動車用アルミニウム合金ダイカストの現状 西 直美 ……………	589
自動車用マグネシウムダイカスト技術動向 武田 秀 ……………	594
自動車エンジン用トライボロジー材料技術の動向 坂手宣夫 ……………	599
FSW 技術と自動車への適用例 大石 郁 藤井英俊 ……………	603
自動車用焼結部品の現状 藤木 章 ……………	608
自動車用 CFRP 技術の最新動向 影山裕史 ……………	612

最近の研究 0.1秒で1000℃昇温できる瞬間発熱素材の創製と応用 生津資大 ……………616  
軽金属と偏移金属から成るナノ多層膜の瞬間発熱機能により、Si ウェハを瞬時にハンダ接合することに成功！

講義ノート 材料の組織形成とその理論—第5回—析出線近傍での核生成～ 宮崎 亨 ……………621  
析出線近傍での核生成を、組成傾斜時効法を用いて観察し、多くの新知見を明らかにしている。

材料ニュース ダイカスト金型専用溶接補修材 DHW 清水崇行 梅森直樹 増田哲也 堀尾浩次 ……625

談話室 サバティカル研修制度による留学体験 松田光弘 ……………628

本会記事	会告……………629	材料系学協会情報コーナー……………640
	支部行事……………634	新入会員……………641
	掲示板……………635	書評……………641
	代議員選挙投票のご依頼と投票用紙……………636	行事カレンダー……………642
	会誌・欧文誌12号目次……………639	会報編集委員一覧……………644
	次号予告……………640	選挙投票用封筒……………はさみ込み

2014年総目次……………ホームページ掲載

会誌・欧文誌の投稿規定・投稿の手引・執筆要領、入会申込書、刊行案内はホームページを参照下さい。  
<http://jim.or.jp/>

表紙デザイン：北野 玲  
複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合においては、その必要はありません。(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です。)

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F

FAX 03-3475-5619 E-mail: [info@jaacc.jp](mailto:info@jaacc.jp) <http://www.jaacc.jp/>

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、直接本会へご連絡下さい。

# 遊星型ボールミル “PREMIUM LINE”

## モデル P-7 **新型**



容器がセットされる様子。

### 特色

1. 従来弊社P-7と比べて250%の粉碎エネルギーUP。  
自転公転比：1：-2. Max 1,100/2200rpm  
粉碎エネルギー：Max 94G(現状P-7：46.08G)
2. 容器は本体内に。  
外部に飛び出す危険は無し。
3. 搭載容器も20, 45, 80ml  
の3種類。  
材質は従来どおり多様。  
雰囲気制御容器も  
各種用意。



## 従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

premium lineと並んで従来どおりの  
遊星型ボールミルトリオも併せて  
ご提供いたします。



フリッチュ社が開発した  
遊星型シリーズの  
パイオニア機種。



▲P-5/4

世界で初めて容器ひとつで  
遊星運動に成功した  
昨年度のベストセラー機種



▲P-6

少量試料を対象にした  
パワフルな機種



▲P-7

### 全機種共通の特長

- 雰囲気制御容器以外の通常容器、ボールの材質は、ステンレス、クロム、タンガステン、カーバイド、メノー、アルミナ、ジルコニア、窒素ケイ素、プラスチックポリアミドの8種類。
- 乾式、湿式の両粉碎も可能。
- ISO9001、CE、TÜVの国際安全基準をクリアー

## フリッチュジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252  
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>

Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364  
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521



Your partner  
for materialography

**Made in Germany**



## 自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

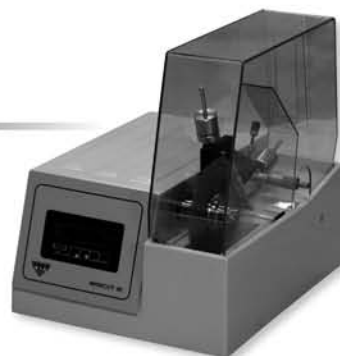
ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。



- φ200mmの研磨盤対応
- 重錘はφ25mm、φ30mmの試料で3個、φ38mmの試料には2個一度に研磨可能
- 研磨盤回転数は40~600rpm、1rpm毎に設定可能
- 本体、PVC製研磨盤、パフを含めて定価100万円(税別)

## 精密切断機 MINICUT 4000

- 低速で試料にストレスを与えず
- 50~1,000rpmの広い範囲での設定可能
- 切断位置はマイクロメーターで±0.01mmで設定可能
- ダイヤモンド、CBN、SIC製の切断刃を用意



## 試料埋め込み材料、アクセサリ



SCANDIA社の消耗品は極めて高い評価をいただいております。その代表作がSCANDIQUICKです。

- 試料への密着性が高い常温硬化剤。硬化時間はわずか5分
  - 構成は粉末硬化剤と液体硬化剤。これを10:6の比率で混合
- その他各種有効な消耗品を用意してございます。

## フリッチュジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252  
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>

Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364  
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521

# どこにもないモノへの挑戦

TOYO TANSO  
Inspiration for Innovation



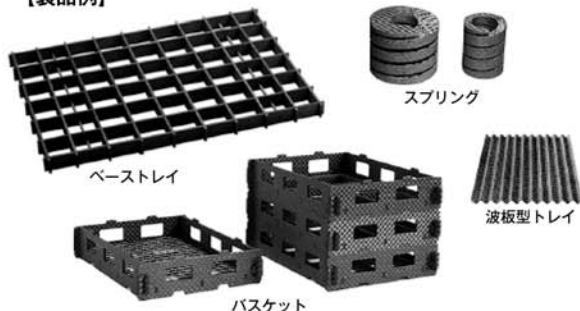
製品情報はこちらへ ▶ [www.toyotanso.co.jp/Products/](http://www.toyotanso.co.jp/Products/)

## C/Cコンポジット製熱処理製品

様々な形状に加工可能な複合材料

- 金属製と比較して、高温強度が高く変形しません
- 処理量アップの提案でトータルコストの削減に貢献

【製品例】



## KLASTA MATE® クラスタメイト

ナノカーボンやDLC成膜用の  
蒸発源として使用可能な金属-炭素複合材

- 炭素材料中に各種金属を均一分散可能

【製品例】



【用途例】

ナノカーボン製造用電極  
DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 成膜用ターゲット

その他用途に応じたきめ細かなご提案をいたします

東洋炭素 クラスタメイト

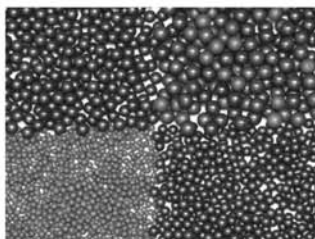


## 東洋炭素株式会社

【本社】〒555-0011 大阪市西淀川区竹島5-7-12 Tel 06-6472-5842 Fax 06-6472-6011 [www.toyotanso.co.jp](http://www.toyotanso.co.jp)

## 特小窒化珪素ボール+各種粉碎ボール

特小の窒化珪素ボール φ2、φ3、φ4、φ5mmを新発売!!



硬度約1,600HV\*以上を達成した窒化珪素(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 92~93%)製ボールです。

以前よりご要望の多かった特小のφ2、φ3、φ4、φ5mmのサイズを新発売致しました。

\*JIS R 1610 に準ずる硬度測定による。

## 炭化ホウ素粒 (B<sub>4</sub>C、円柱形)

ダイヤモンド、窒化ホウ素に次ぐ硬度を持つ、炭化ホウ素の粉碎用粒状媒体です。  
粒の形状は短い円柱状で、サイズは、約φ7mm×5.5mmです。

硬度：Hv 2769

炭化ホウ素の他にも、鉄芯の入ったテフロン、ナイロン、ポリウレタン、ポリエチレンなどの樹脂製ボールがあります。その他、メノー、タングステンカーバイド、クローム鋼、ステンレス(SUS304)、高純度アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、石英などの各種材質が揃っていますので、目的に応じた材質とサイズをお選び下さい。



※粉碎機のレンタルもあります



株式会社 伊藤製作所

〒103-0022 東京都中央区日本橋4-6-7 TEL:03-3270-9901 FAX:03-3270-9906  
[www.itoh-mill.com/](http://www.itoh-mill.com/) E-mail:itousei@wonder.ocn.ne.jp



1. ショートドロップチューブプロセスを用いた InSb 単結晶微粒子創製  
芝浦工業大学 **新井健太君**, 西村 優君, 永山勝久君



2. Mo-Si-B 合金の  $Mo_{ss}$ - $Mo_3Si$ - $T_2$  共晶点周辺における液相面投影図の確立  
東北大学 **飯澤渉史君**, 吉見享祐君



3. 塑性加工による Fe-Cr-Co 強磁性合金の  $\alpha_1 + \alpha_2$  二相分離組織の変化  
東北大学 **祝迫ひとみ君**, 小泉雄一郎君, 千葉晶彦君



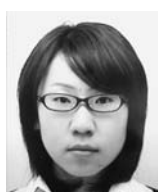
4. メカニカルアロイング法で作製した Li-Ge-P-S 系超イオン伝導体の構造研究  
京都大学 **笠井拓矢君**, 小野寺陽平君, 森 一広君, 福永俊晴君



5. 超微細粒 Al における活性化体積の応力依存性  
東京工業大学 **加藤裕昌君**, 大久保智君, 宮嶋陽司君, 尾中晋君, 加藤雅治君



6. TiC 添加 Mo-Si-B 合金 ( $MoSiBTiC$  合金) のクリープ変形挙動  
東北大学 **金今大樹君**, 吉見享祐君



7. 変形双晶を有するオーステナイト系ステンレス鋼単結晶のマイクロ引張試験  
熊本大学 **古賀 薫君**, 中道翔生君, 峯 洋二君, 高島和希君,  
九州大学 **堀田善治君**



8. Y 及び V 薄膜の水素の移動に関する研究  
岩手大学 **小賀坂拓磨君**, 山口 明君



9. Ti-Nb-Al 形状記憶合金における自己調整組織の再配列挙動  
東京工業大学 **小梶智也君**, 田原正樹君, 稲邑朋也君, 細田秀樹君, 筑波大学  
宮崎修一君



10. Cu(Ti) 合金膜を用いた IGZO 膜への低接触抵抗電極の作製  
大阪大学 **伊藤和博君**, **小濱和之君**, 佐野貴之君, 物質・材料研究機構 生田目俊秀君, 大井暁彦君



11. 熱酸化法により Ti 上に作製した  $TiO_2$  皮膜の光触媒活性による抗菌性評価  
東北大学 **近藤なつ美君**, 佐渡翔太君, 上田恭介君, 成島尚之君, 小笠原康悦君



12.  $RuO_2$  シードを用いた PE-ALD 法で作製した  $RuO_2$  膜の特性  
物質・材料研究機構 **澤田朋実君**, 生田目俊秀君, Thang Duy DAO 君, 芝浦工業大学 山本逸平君, 明治大学 栗島一徳君, 物質・材料研究機構 大井暁彦君, 芝浦工業大学 大石知司君, 明治大学 小椋厚志君, 物質・材料研究機構 長尾忠昭君



13. 新高硬度酸化物薄膜 Cr-O の電子線回折による結晶構造評価  
長岡技術科学大学 **鈴木知真君**, 鈴木常生君, 物質・材料研究機構 松井良夫君, 長岡技術科学大学 中山忠親君, 末松久幸君, 新原皓一君



14. HVEM による CZ-Si 中の水素起因欠陥観察  
九州大学 **高田康佑君**, 田中大樹君, 杉村 渉君, 田中將己君, 森川龍哉君, 東田賢二君



15. 分子動力学法を用いた TiAl 金属間化合物における転位挙動の解析  
 三重大学 竹内俊一君, 河村貴宏君, 鈴木泰之君,  
 物質・材料研究機構 北嶋具教君



19. Mg/LPSO 二相合金一方向凝固材におけるキンク帯伝播挙動  
 熊本大学 蓑毛 健君, 山崎倫昭君, 眞山 剛君, 大阪大学 萩原幸司君,  
 熊本大学 河村能人君



16. 離散転位動力学法による Fe-Si 合金の転位挙動解析  
 大阪大学 田中 征伎君, 譯田真人君, 君塚 肇君, 尾方成信君



20. Hardness connected to precipitation in an Al-Mg-Cu alloy and its Ag-added variant  
 東京工業大学 三原麻未君, SINTEF Calin D. Marioara 君, NTNU R. Holmestad 君,  
 東京工業大学 小林郁夫君, 里 達雄君



17. タングステンのセルフイオン照射による転位ループの形成過程  
 島根大学 長澤良太君, 東京大学 石野 栞君, 大阪大学 保田英洋君, 森 博太郎君, 名古屋大学 荒井重勇君, 田中 信夫君, 新日鐵住金 網野岳文君, 島根大学 荒河一渡君, Orsay University Erwan Oliviero 君, CEA-Saclay Francois Willaime 君



21. Al 含フェライト系耐熱鋼に晶出する Fe<sub>2</sub>(Nb, W) Laves 相の組成に依存したミクロ組織変化  
 東北大学 山形遼介君, 吉見享祐君



18. フェムト秒レーザー駆動衝撃波により形成される衝撃初期の転位組織  
 大阪大学 松田朋己君, 佐野智一君, 廣瀬明夫君, 島根大学 荒河一渡君

～ おめでとうございます. ～

日本金属学会講演大会優秀ポスター賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best Poster Award ; ポスターセッション発表者を対象に, 優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する. 本賞の贈呈は各大学, 研究所に委託しこれを行う.



ポスターセッション発表風景.







# 自動車用ハイテン材の現状

齋藤 和也\*

## 1. はじめに

近年、自動車業界では燃費性能の向上策の一つとして、「車体の軽量化」が進められている。同時に衝突安全のニーズも高まっており、骨格部品の高強度化が求められている。この「車体の軽量化」と「高強度化」を両立させるために、自動車車体構造への高張力鋼板(ハイテンションスチール板、以後ハイテン材)が積極的に適用されてきた。本稿では、自動車用ハイテン材の適用状況について解説する。

## 2. 自動車車体軽量化の必要性

近年の環境問題の高まりに対し、CO<sub>2</sub>排出量の削減のため、世界各国で燃費基準が定められている。我が国においても同様であり、自動車からのCO<sub>2</sub>排出量は、我が国全体の排出量の約2割を占めており、地球温暖化対策を推進するため、自動車からのCO<sub>2</sub>排出量を削減することが重要な課題となっている。その対策の一つとして、自動車の燃費性能を改善させることは、極めて重要である<sup>(1)</sup>。図1に車両重

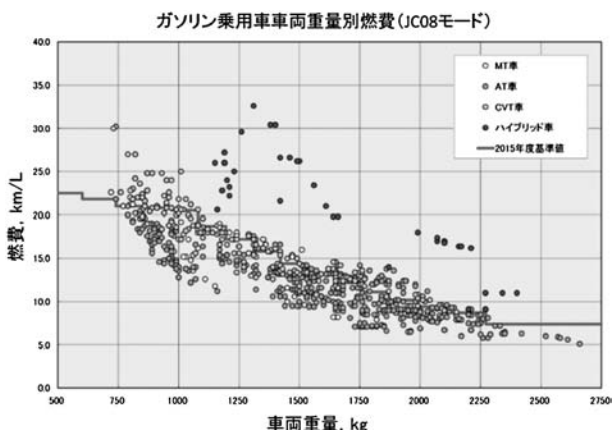


図1 車両重量と燃費の関係(国土交通省ホームページ)。

量と燃費の関係を示す。

図1より、変速機形式や駆動形式に拠らず、車体重量の増加と共に燃費が悪化していく状況が読取れる。このことから、車体の軽量化が燃費向上の有効な手段であることが解る。

## 3. 自動車車体軽量化の考え方

一般的に、車両重量の約200~300kgを占める車体重量において、100kgの軽量化は1km/Lの燃費向上に寄与すると言われている。このことから、車体の軽量化は、ハイブリッド車のような大幅な燃費向上には寄与し難いものの、図2に示すように、①骨格配置の進化や②継ぎ手部③断面の進化、或いは④材料の進化による重量削減が期待できることから、大きな投資や部品調達方法の変化を伴わない燃費向上の手法として、ニーズが高い。これらの手法において、ハイテン材の適用は図2における④材料の進化中の高強度化に該当する。

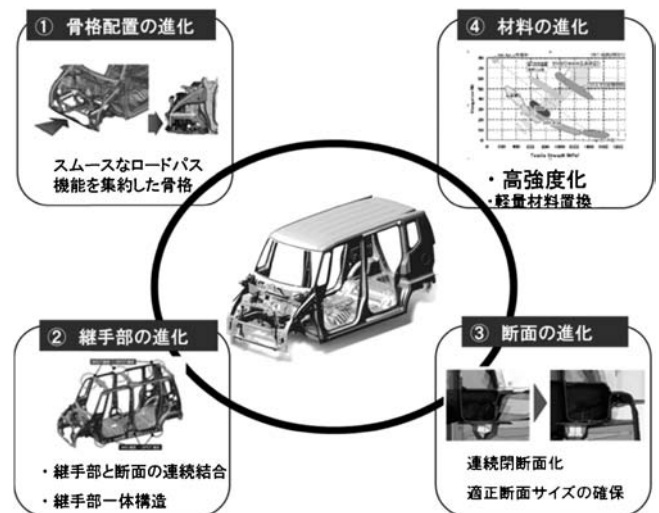


図2 車体軽量化の考え方。

\* ホンダエンジニアリング株式会社生産技術部車体生産技術 BL6Gr ; 技術主任(〒321-3395 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台 6-1)  
The Current Application Situation of High-tensile Strength Steel Sheet for Automotive Body; Kazuya Saito (Body Production Engineering Block, Production Engineering Division, Honda Engineering Co., Ltd., Haga-Gun, Tochigi)  
Keywords: high tensile strength steel, weight reduction for automotive body, tailor weld blank, hotstamping  
2014年7月24日受理[doi:10.2320/materia.53.584]

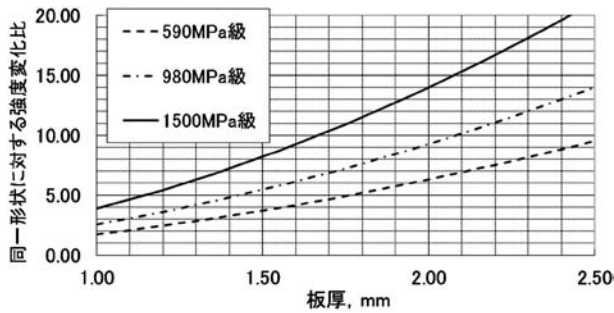


図3 ハイテン材板厚と強度比の関係.

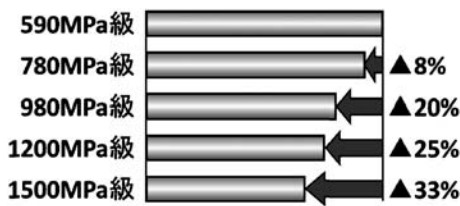


図4 高ハイテン化による重量削減効果.

#### 4. ハイテン材の適用効果

ハイテン材の適用による軽量化効果は主に等価強度の考え方による板厚減少に拠るところが大きい。図3にハイテン板厚と同一形状に対する強度変化比の関係を示す。

図3において、590 MPa 級ハイテン材と1500 MPa 級ハイテン材の強度比を等価とすると考えた場合、590 MPa 級では2.4 mm 必要であった板厚が、1500 MPa 級に置換することにより1.6 mm で同じ強度を持たせることが出来ることを示している。言い換えれば、強度を約2.5倍にすれば、約33%の板厚=重量が削減できるという事である。図4に590 MPa 級ハイテン材を100とした場合の、高強度化による重量削減効果の例を示す。図からも明らかなように、材料の強度が高くなるほど重量削減効果が大きくなる。この事象を逆に考えれば、高ハイテン材を活用すれば、板厚を厚くしない(車体重量を増加させない)で、車体の高強度化、つまり衝突安全性の向上が図れるということである。これらの理由が、自動車車体へのハイテン材の適用増加の一因となっている。

#### 5. 自動車車体へのハイテン適用の考え方

先述したように、高強度材を適用することで車体の軽量化は促進される部分はあるものの、車体の特性から鑑みると単純な高強度化は困難である。図5に車体各部位の求められる特性を示す。

図5より、車体のフロントおよびリア側には衝突エネルギーを吸収するための安定した圧壊特性が求められる。これに対し、車体中央のキャビン部分には乗員を保護するために、高い変形耐性が求められる。これら車体の必要特性からハイテン材の適用を考慮した場合、一般的な金属材料と同様



図5 車体各部位の必要特性.

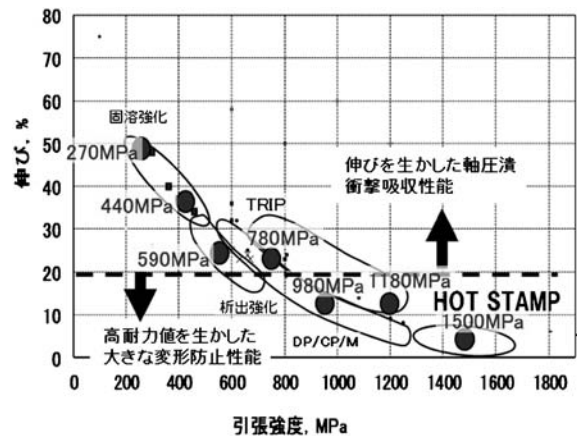


図6 各種ハイテン材の引張強度と伸びの関係.

にハイテン材でも、引張強度の向上と共に伸びが低下する特性があるため、材料特性を考慮した適用検討が必要となる。各種ハイテン材の引張強度と伸びの関係を図6に示す。

車体のフロント・リア側には伸びを活かした衝撃吸収性能が求められるため、780 MPa 以下のハイテン材の適用が主に検討される。反対にキャビン側には変形耐性が高い高ハイテン材の適用が優先的に検討される。これらの考え方を最適化することが軽量化と衝突安全性の両立には重要である。

#### 6. ハイテン材適用の課題

上述してきた様に、ハイテン材適用を最適化することにより自動車車体の軽量化に貢献するものの、高強度化・伸びの低下に伴う成形性の課題が発生する。表1に代表的な自動車用軟鋼板である270 MPa 級材と中強度のハイテン材である590 MPa 級の代表的な成形性指標の比較および発生する問題点を示す。

##### (1) シワ・キレツ

ハイテン化による、キレツ・シワの発生についてはシミュレーションを活用した成形予測による成形形状の最適化等の対応が図られている。また、材料の改良による成形性の向上( $n$  値,  $r$  値の改善)も図られている。最近の事例では、これまでに採用してきた980 MPa 級ハイテン材に対し、同等以

上の延性を有する 1180 MPa 級高成形性超ハイテン材が開発されている。この開発においては、材料組織を極限まで微細化させる技術により、強度と延性を同時に向上させる事に成功した<sup>(2)</sup>。また、高ハイテン材に於いて問題となる遅れ破壊特性についても向上が図られている<sup>(3)</sup>。

## (2) 金型寿命

金型の摩耗、カジリによる寿命低下に対しては、金型材質の高強度化や金型表面処理による高硬度化、低 $\mu$ 化等の施策を最適化し高寿命化が図られている。

## (3) スプリングバック

スプリングバックとは、金型によって決定される形状と実際に加工された製品の形状との差の事であり、一般的には材

料強度が高い程、スプリングバック量が大きくなるとされている(図7)。

スプリングバックの増大に対しては、金型見込みによる対応が取られる事が多い。金型見込みとは、スプリングバックとは逆方向に形状変形を行い、プレス成形後に製品形状を出すようにする金型調整法のことである。

見込み量の設定は、過去のノウハウの蓄積により行われる事が多い。270 MPa 級の軟鋼板の場合、各社とも過去の膨大な実績があるため、類似形状から部位毎の見込み量を事前予測することは比較的容易であり、通常はスプリングバック量に対して、逆方向にスプリングバックと同じ量の見込み設定を行う。しかし、ハイテン材の場合はノウハウの蓄積が十分ではなく、またスプリングバック量が大きいため、見込み量の事前予測が難しい。シミュレーションによるスプリングバックの事前予測も行われているが、高ハイテン材ほど現物と合致しない事が多い。このため、見込み量の改修を数度繰り返す事もあり、金型調整工数の増大が各メーカーの問題となっている。

いずれの成形性課題についても、高ハイテン化に従って問題事象が顕著化してきており、完全に解決されたとは言い難い。各社とも精力的に課題解決に取り組みつつ、適用部品を拡大、推進しているのが実情である。

表1 ハイテン化による成形性の問題点。

	JAC270F	JAC590R	主な問題点
n 値	0.25	0.13	キレツ限界低下
r 値	1.98	0.78	シワ限界低下
引張強度	270 MPa	590 MPa	金型寿命低下 スプリングバック増大

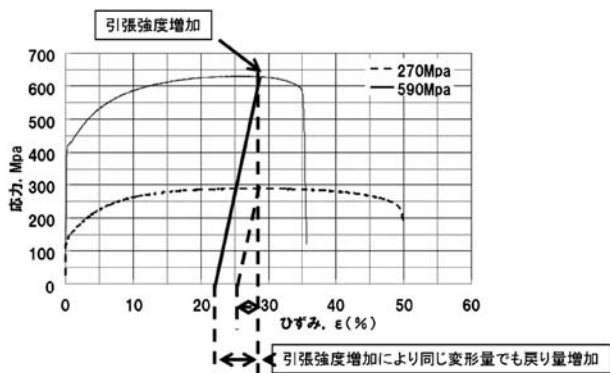


図7 引張強度とスプリングバック量の関係。

## 7. 自動車車体へのハイテン適用事例

### (1) ハイテン材適用の変遷

弊社の基幹車種である ACCORD の車体におけるハイテン材適用状況の変遷について、図8に示す。

2003年度モデルのハイテン化比率は約40%程度であったのに対し、2008年度モデルでは48%、2013年度モデルでは約56%と年々ハイテン材の適用比率が増加してきている事が解る。一方、使用ハイテン材のグレードで見た場合、2003年度モデルでは 590 MPa 級の使用比率が13%であったのに対し、2008年度モデルでは42%にまで拡大している。さらに、2013年度モデルでは 590 MPa 級の使用比率が約

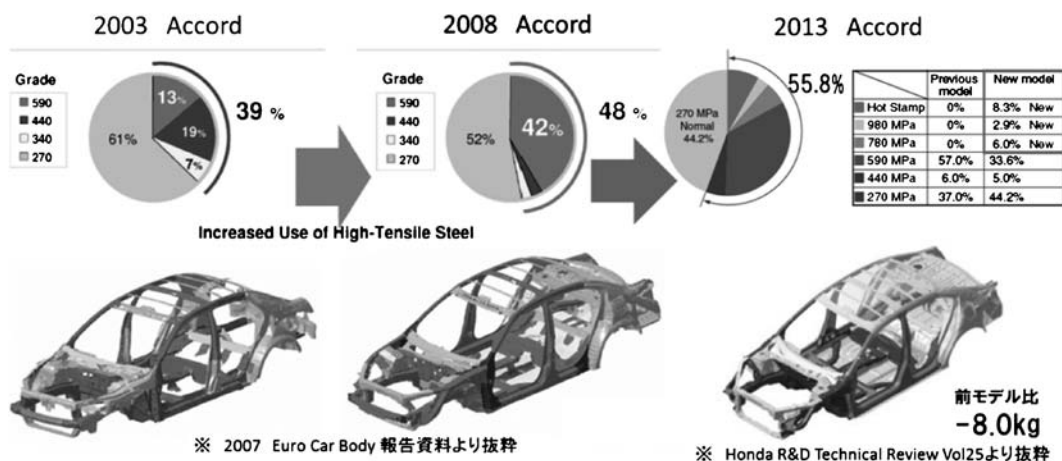


図8 ACCORD におけるハイテン適用状況の変遷。

34%に低下，その代わりに780 MPa級や980 MPa級，またホットスタンプ材(1500 MPa級)等が適用されてきている．これらの事から，年々車体の高ハイテン化が推進されてきたことが解る．この高ハイテン材の適用化により2013年度モデルでは，前モデル比8 kgの車体の軽量化及び同等以上衝突安全性の確保を実現している．

## (2) テーラードブランクへのハイテン材の活用

テーラードブランク(Tailor Welded Blank：以下TWB)は，板厚や材質の異なる複数の鋼板をプレス成形前に溶接し，1枚のブランクとしたものである．TWBの適用は，素材の最適配置を可能とし，車体の軽量化と高剛性を両立できるため，国内においては1990年代以降そのニーズが高まり，ドアインナ，サイドパネルインナ，サイドメンバなどの各種部品への適用が増加している<sup>(4)-(6)</sup>．

最近の弊社としてのハイテン材とTWBの組合せ事例として，軽自動車である「N BOX」のサイドパネルアウト(Side Panel Outer：以下SPO)への適用が挙げられる(図9)．

SPOでは，アウト前側のフロントピラ下部と下側のサイドシルに繋がる範囲と，前側のフロントピラ上部からルーフそして後ろのリアパネルにつながる範囲で，必要機能が分かれている．前者は衝突時の変形を抑制する必要があるエリアである一方，後者は耐デント性を満足する必要があるエリアである．また，SPOは人目に触れる部品でもあるため，特に後者は，意匠性が求められる成形性が必要となる．そこで板厚と材料強度および成形性の異なるTWBが求められた．従来一般的な手法は，SPO全体を薄板で成形し，SPO前側のフロントピラ下部と下側のサイドシルに別部品のスチフナ

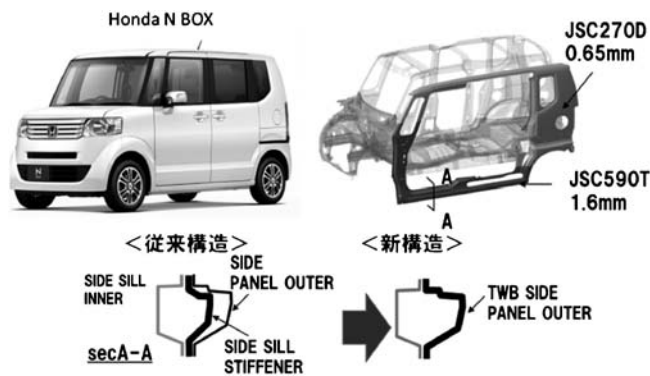


図9 SPOへのTWBハイテン材適用事例．

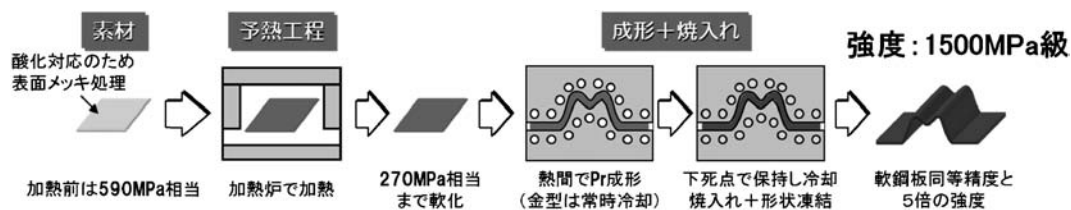


図10 ホットスタンプ製法概略．

で補強する手法がとられているが，TWBで一体成形することにより，部品点数が削減でき，4 kgの軽量化と合理化による低コスト化が実現した．また，このSPOの適用においては，人目に触れる部品であることから外観要件が適用される．そのため接合線の一部に特殊な平滑化処理を施し，見栄え向上を図っている<sup>(7)</sup>．2013年に発売した「N WGN」では更にこれらの技術を発展させ，SPO前側のフロントピラ下部から下側のサイドシル，リアのホイールアーチの一部にかけて780 MPa級ハイテン材を適用し，更なる軽量化と衝突安全性の向上に寄与した．

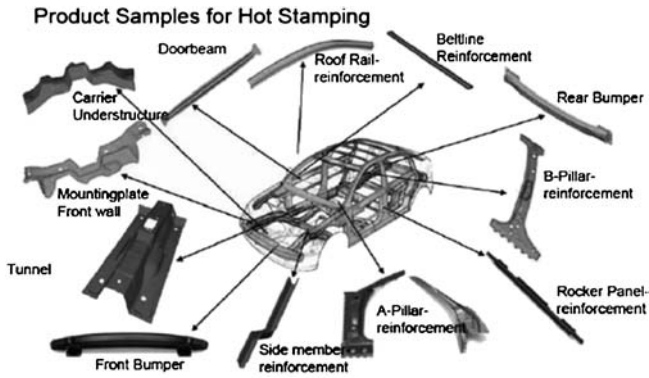
## 8. ホットスタンプ材の適用

ホットスタンプ製法とは，オーステナイト変態点(830℃)以上に加熱した鋼板を金型にて成形と急冷却を同時に行うことにより，成形と焼入れ処理を同時に行う成形技術のことである(図10)．焼入れ処理を行った製品は1500 MPa級の引張強度を有する．ホットスタンプ製法の長所と短所を表2に示す．表2に示すようにホットスタンプ製法は，高ハイテンの成形性課題を解決する長所があり欧米では広く普及，様々な部品に適用されてきた(図11)．

しかし，日本ではあまり普及してこなかった．この要因としては，衝突安全性能要求値の差により1500 MPa級ハイテン材の適用までは求められてこなかったこと，また欧米に比して高い成形性を有するハイテン材の入手が容易であったことが挙げられる．しかし，最たる要因はホットスタンプ製

表2 ホットスタンプ製法の長所と短所．

長 所	短 所
成形と焼入れ熱処理を同時に行うため，1500 MPaの高強度成形部材が得られる．	金型内での冷却には10秒程度の時間が必要であるため，冷間成形に対し生産性が低い．
高温成形のため冷間の高張力鋼板に対し材料伸びが高く成形限界が高い．	焼入れ後の製品は高強度であるため，金型による後加工では刃具の損耗が激しい． →レーザによる後加工が必要となり，設備投資・ランニングコストが高い．
成形中に導入される歪が高温により回復されるため，残留応力が小さく，スプリングバックがほとんど無い． →成形精度が良い	大型連続加熱炉やレーザ設備の投資額が大きい．



※Courtesy of ArcelorMittal

図11 欧米でのホットスタンプ製法適用事例.

法の短所により製品コストが高いことにあった. 筆者らはこのような生産技術課題を解決するため, 高効率ホットスタンプ技術を開発し, 「N BOX」(図9)に適用, 2 kgの車体軽量化と衝突安全性の向上に貢献した.

開発項目としては従来のホットスタンプ製法に対し,

- ①加熱炉長短縮のための短時間加熱
- ②ハイサイクル成形技術
- ③レーザ加工レス金型技術

の技術開発に取り組み, 高効率化を実現した. 開発技術の概略を図12に示す.

### 9. おわりに

自動車車体の軽量化は, 自動車会社にとっては環境問題がクローズアップされる以前からの重要な課題である. 材料側から見た軽量化手法としては, 時代によりアルミニウム等の軽量材料への置換, 本稿で解説してきた軟鋼板からハイテン材への置換, また, 最近では炭素繊維強化プラスチック

(carbon-fiber-reinforced plastic, CFRP)の適用等様々なアプローチでの取組がなされてきたものの, 軽量・高強度材料への置換の考え方自体に大きな変化は起こっていない. 近年になって, 駆動方式の電動化のように自動車としてのパラダイムシフトが起こっていても, 車体の軽量化の重要性においての変化はなく, むしろ重要度を増していると言っても過言ではない. これからも, 様々な開発や取組みが成果を上げ, 更なる車体軽量化, 安全性能の向上が図られていくことを期待する.

### 文 献

- (1) 国土交通省ホームページ, 自動車燃費目標基準について.  
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000005.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000005.html)
- (2) 日産自動車株式会社ホームページ, 1.2 GPa 級高成形性超ハイテン材.  
[http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/high\\_ten.html](http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/high_ten.html)
- (3) 株式会社神戸製鋼所ホームページ, 自動車用冷延ハイテンの開発・採用について.  
[http://www.kobelco.co.jp/releases/2011/10/1186711\\_12093.html](http://www.kobelco.co.jp/releases/2011/10/1186711_12093.html)
- (4) 夏見文章: プレス技術, **34**(1996), 18-25.
- (5) 桜井 寛: 212nd 塑性加工シンポジウム, (2002), 61-68. 千葉大学.
- (6) JFE 技報: No. 16 (2007), 62-63.
- (7) 横山 鎮: 塑性と加工, **54**(2013), 309-313.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
齋藤和也

1992年 富山大学工学部金属工学科卒  
昭和アルミニウム株式会社(現 昭和電工株式会社)においてアルミニウム押出加工の生産技術開発業務に従事.

2002年3月- 現職  
専門分野: 金属薄板の熱間成形加工技術

◎アルミニウムの超塑性特性を活かした熱間ブロー成形技術の開発と応用に従事し, トランクリッドやフェンダーパネルの量産化に貢献してきた.  
その後, 鋼板のホットスタンプ成形加工技術開発を中心に活動, 現在に至る.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

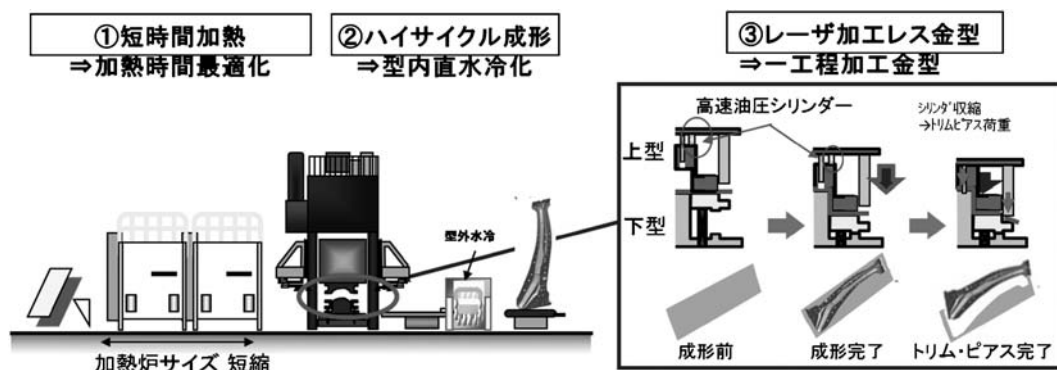


図12 高効率ホットスタンプ技術概略.

# 自動車用アルミニウム合金 ダイカストの現状

西 直 美\*

## 1. はじめに

ダイカストは、アルミニウム合金、亜鉛合金、マグネシウム合金、銅合金などの熔融金属を精密な金型の中に圧入して、高精度で铸肌の優れた铸物を短時間に大量生産する铸造方式である。優れた寸法精度、美麗で滑らかな铸肌、高い生産性などの長所がある。特にアルミニウム合金ダイカストは、薄肉・軽量で機械的性質も良いことから、シリンダーブロック、トランスミッションケース、ロッカーカバーなどのケース類・カバー類を中心とした自動車部品の用途がダイカスト生産量全体の約95%を占める。一方、一般的に铸造による欠陥が多く発生することや製品内のガス含有量が多くT6熱処理・溶接が難しい。そのために自動車の足回り部品やボディ部品などの要求機能の高い部品への適用が難しい。しかし、最近では層流ダイカストや高真空ダイカストなどの特殊ダイカスト法が開発され、難易度の高い製品への適用も進みつつある。

ここではアルミニウム合金ダイカストの用途を拡大しつつある高品質化技術、薄肉化技術、合金材料技術の現状について紹介する。

## 2. 高品質化技術

通常のダイカスト法(以後、普通ダイカスト法と呼ぶ)では、プランジャ速度が1~3 m/sの高速(ゲート通過速度は30~90 m/s)で射出され、0.1 s以下の短時間に充填が完了する。また、ゲートの厚さは1~3 mm程度であり、非常に短時間に閉塞し、铸造圧力の伝達は早期に途絶える。その結果、ガス欠陥であるブローホールやひげ巣が発生し、機械的性質や耐圧性の悪化や巻き込まれたガスのためにT6熱処理・溶接が難しい。そこで、これまでに表1に示すような特殊ダイカスト法が開発されてきた。以下、これらのダイカスト法について簡単に紹介する。

表1 特殊ダイカスト法。

充填速度	名 称
低速充填	スクイズダイカスト
	低速充填ダイカスト
	セミソリッドダイカスト
高速充填	高真空ダイカスト
	PFダイカスト

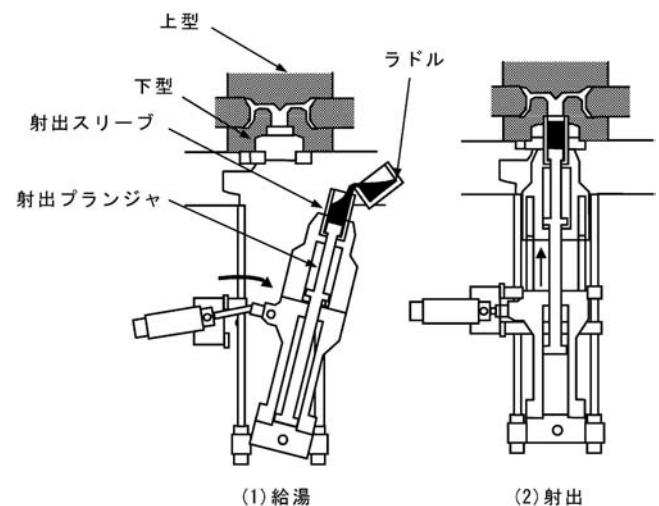


図1 スクイズダイカスト法の原理図。

### (1) 低速充填によるダイカスト

スクイズダイカスト法は、図1に示すように傾転した縦型の射出スリーブ内に溶湯を注湯した後に、スリーブを金型部に連結し、厚いゲートから溶湯を静かに金型キャビティ内に充填する方法である<sup>(1)</sup>。50~110 MPaの高圧力で加圧することにより、ひげ巣が少なく微細な凝固組織を有するダイカストを得ることができる。また、ガスの含有量も1 mL/100

\* 一般社団法人日本ダイカスト協会技術部；技術部長(〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8) Current Conditions of Aluminum Alloy Die Castings for Automotive; Naomi Nishi (Technology division, Japan Die Casting Association, Tokyo)

Keywords: die casting, aluminum, squeeze die casting, vacuum die casting, semi-solid die casting, pore-free die casting, thin wall die casting, new die casting alloy

2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.589]

g Al 以下と少ないことから T6 熱処理や溶接が可能で、自動車のホイールなどが生産されている。横型のダイカストマシンを用いて、低速で溶湯を充填する方法も開発されている<sup>(2)</sup>。スクイズダイカスト法と同様にひげ巣、ブローホールが大幅に低減され、高強度で延性、靱性の高いダイカストを得ることができる。

アーレスティでは図 2 に示すようなエア加圧により直接に金型キャビティ内へ溶湯を充填し、加圧子により加圧する NI 法(New Injection Die Casting Process)<sup>(3)</sup>を開発した。同方法は、ランナーやキャビティ表面に粉体離型剤を塗布して充填過程での溶湯の冷却を防止し、また層流で金型キャビティに溶湯を充填するため空気の巻き込みも少なく、図 3 に示すナックルアームのような機械的性質の優れたダイカストの生産を可能にしている。

セミソリッドダイカスト法は、初晶を粒状化することにより固液共存状態で casting できる方法である。凝固収縮量が少なくひげ巣が発生しにくい、粘性流動のためガスの巻き込みが少ない、潜熱量が少なく金型寿命が長い、などの特徴がある。この方法には、レオキャスト法とチクソキャスト法がある。前者は合金を液体状態から攪拌しながら冷却して初晶を

粒状に成長させて所定の固相率に到達した時点で成形する方法で、半凝固 casting 法とも呼ばれる。後者は、粒状組織を生成させたスラリーを一旦凝固させてビレットを作製し、 casting の際に再度ビレットを加熱して固液共存状態にしてから成形する方法であり、半溶融 casting 法とも呼ばれる。

東京理化学工業所は、日本国内で初めてチクソキャスト法を導入し、耐圧部品や重要保安部品などを生産した<sup>(4)</sup>。また、本田技術研究所では独自にチクソキャスト法を開発し、ボディ部品を生産した。しかし、同方法は組織調整された特殊なビレットを再溶融するためにコスト的な課題があり、現在ではほとんど生産されていない。

日立金属ではレオキャスト法の開発に取り組み、電磁攪拌装置を取り付けたスクイズマシンの射出スリーブ内に溶湯を供給し、スリーブ内で粒状の初晶を生成した後に射出・充填する方法を開発し、図 4 に示す足回り部品を生産している<sup>(5)</sup>。ナノキャストでは、図 5 に示すように電磁攪拌装置内のステンレス製カップに溶湯を注湯し、急速に冷却することで核生成数を多くして、極めて短時間に溶湯をセミソリッド状態にする方法を開発した<sup>(6)</sup>。これまでのセミソリッドダイカスト法(100 μm 以上)に比較して初晶 α 晶の粒径が小さく

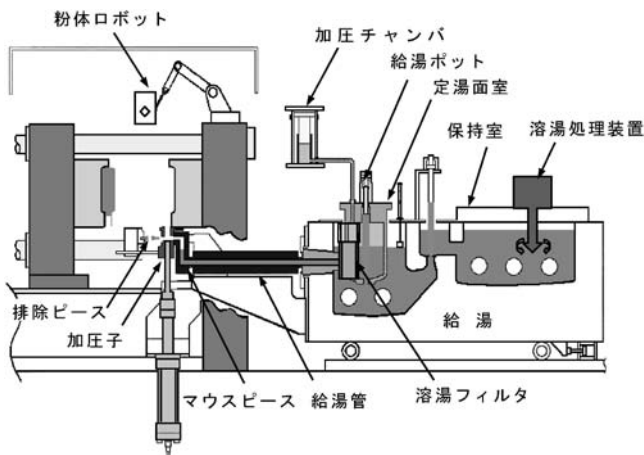


図 2 NI 法(New Injection Die Casting Process)の原理図<sup>(3)</sup>。



図 3 NI 法で生産したナックルアーム(アーレスティ提供)。



図 4 半凝固ダイカスト法で生産したアッパーアーム(日立金属提供)。

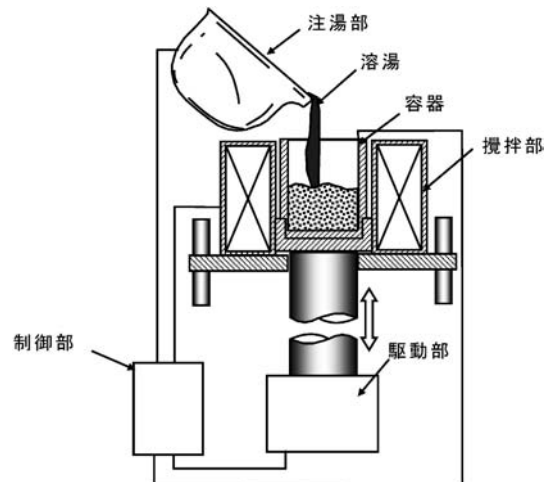


図 5 ナノキャスト法の原理図<sup>(6)</sup>。



50  $\mu\text{m}$  程度となることを特徴とする。東京理化学工業所は、この方法で二輪自動車のアームサスペンションなどを生産している。

## (2) 高速充填によるダイカスト

従来、金型キャビティの空気を強制的に排気する真空(減圧)ダイカスト法が使用されていたが、真空度は20~50 kPa程度であり、製品内のガス量は5~20 mL/100 g Al程度でT6熱処理や溶接などが難しかった。それに対して、金型合わせ面、押出ピンクリアランス、プランジャチップ等のシール方法や給湯方法を工夫して金型キャビティ内の真空度を10 kPa以下にする高真空ダイカスト法が開発されている。最初に注目を集めたのは1994年にAudi A8のオールアルミニウムスペースフレームのボディ部品やベンツのクロスメンバーなどをダイカスト化したVacural法<sup>(7)</sup>(図6)であった。この工法の特徴は、射出スリーブと保持炉の溶湯がサクシオンパイプで連結されており、金型キャビティおよび射出スリーブ内を真空にすることで射出スリーブ内に溶湯を吸い上げるため、長時間の真空吸引ができ5 kPa以下の真空度が得られる。製品内のガス量は1~3 mL/100 g Alで、T6熱処理

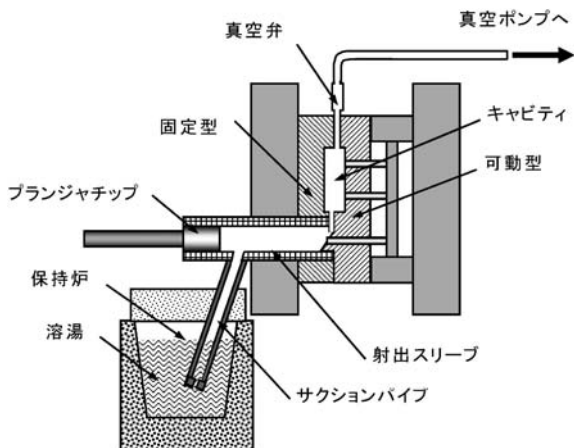


図6 Vacural法の原理図。

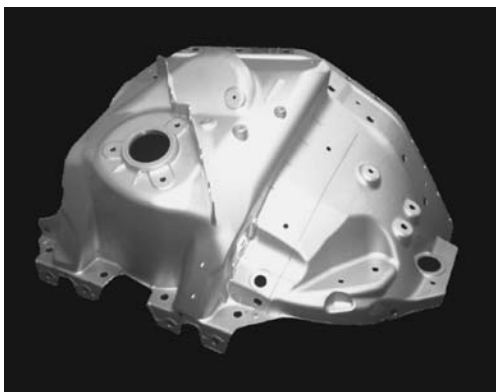


図7 高真空ダイカスト法で生産したストラットハウジング(日産自動車提供)。

や溶接が可能である。その後欧州で使用実績が拡大するとともに、日本国内にも導入されている<sup>(8)(9)</sup>。日産自動車では、サブフレームや図7に示すようなストラットハウジングなどの重要保安部品のダイカスト化を行った。最近では、マツダが高真空ダイカストと次章で紹介する超高速ダイカストを組み合わせて、一般肉厚2.5 mmのシリンダーブロックを生産している<sup>(10)</sup>。真空度は10 kPa以下、プランジャ速度は6.6 m/sである。

また、本田技術研究所では、図8に示すような高張力鋼のプレス部品(黒色の部分)の上に高真空ダイカストで製造した部品(白色の部分)を乗せて摩擦攪拌により接合したサブフレームを開発した<sup>(11)</sup>。ダイカスト品は、ADC3相当合金を用いて高真空・超高速ダイカストにより生産し、T5処理を行っている。

キャビティ内を真空に引く代わりに、金型キャビティの空気を酸素で置換するPF(Pore Freeの略)法が開発された<sup>(12)</sup>。図9にその原理を示す。置換した酸素とアルミニウム合金溶湯が反応し、固体の酸化物を形成して瞬間的に真空状態となる。その結果、ブローホールなどのガス欠陥を大幅に減少させ、T6熱処理や溶接を行うことができる。この方法で図10に示すような自動車のハウジング(T6処理品)など



図8 高真空ダイカストで製造した部品と高張力鋼のプレス品を摩擦攪拌により接合したサブフレーム(本田技術研究所提供)。

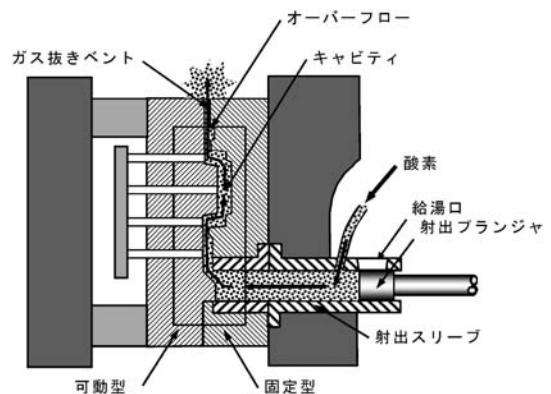


図9 PF(Pore Freeの略)法の原理図。



図10 PF法で生産したハウジング(アーレスティ提供).

が生産されている.

### 3. 薄肉化技術

これまでのアルミニウム合金ダイカストの平均肉厚は、対象製品によって異なるが自動車関連部品では3~5 mm、電気・通信関連の部品では1~2 mmが一般的である。ダイカストの肉厚については、ダイカスト表面積あるいはダイカストの大きさの関係で表2に示されるような目安が経験的に設定されている<sup>(13)</sup>。しかし、最近では軽量化を目的に表2より更に薄肉なダイカストの要求が高まっている。

薄肉のキャビティに溶湯が完全に充たされるためには、充填過程で凝固し流動が停止してはならない。F. C. Bennett<sup>(14)</sup>は、単位体積中の熱量が肉厚の中央断面に集中していると考え、ダイカストの凝固時間を定常状態のフーリエの式を用いて求め、その70% (Bennett Factor) が充填時間( $\theta$ )であるとして式(1)を提案している。

$$\theta = \frac{0.7\rho x^2 \{q_a + c(T_m - T_s)\}}{k(T_m - T_d)} \quad (1)$$

ここで、 $k$ : 溶湯の熱伝導率、 $q_a$ : 溶融潜熱、 $c$ : 比熱、 $\rho$ : 溶湯密度、 $T_m$ : 溶湯温度、 $T_s$ : 液相線温度、 $T_d$ : 金型温度、 $x$ : 肉厚の1/2とする。

肉厚が1 mmの製品をADC12(密度: 2.4 g/cm<sup>3</sup>, 比熱 0.963 kJ/(kg·K), 溶融潜熱 403 kJ/kg)で溶融温度 953 K, 金型温度 473 Kに铸込むとすると式(1)より5 msで充填を完了しなければならない。铸込み質量が1 kg, 射出プランジャ径を12 cmとした場合、肉厚1 mmの製品を铸造するための射出速度は7 m/s程度が必要である。

この高速射出を実現するためには、加速・減速のレスポンスに優れた大容量バルブや射出コントロール機能を有する铸造機が必要である。最近では射出速度5 m/s以上の高速射出を可能にした超高速ダイカストマシンが普及しつつある<sup>(15)</sup>。図11に広島アルミニウム工業が超高速ダイカストマシンで生産した一般肉厚が1.5 mmのオイルセパレータを示す<sup>(16)</sup>。同製品はトランスミッションケース内に装着される

表2 ダイカスト表面積と最小肉厚.

ダイカストの表面積*1(cm <sup>2</sup> )	最小肉厚(mm)	
	Zn合金	Al, Mg合金
25まで	0.6~1.0	0.8~1.2
25~100	1.0~1.5	1.2~1.8
100~500	1.5~2.0	1.8~2.5
500以上	2.0~2.5	2.5~3.0

\*1: 最小肉厚で形成される単一主平面の面積



図11 超高速ダイカスト法で生産したオイルセパレータ(広島アルミニウム工業提供)<sup>(14)</sup>.

もので歪み許容差が±0.26 mmと厳しく、铸放して高精度を確保している。先に述べたマツダのシリンダーブロックや本田技研のサブフレームなどもこの超高速ダイカストマシンを用いて铸造されている。

### 4. 合金材料技術

ダイカスト用アルミニウム合金には、金型とダイカストが反応する焼付や型侵食を防止するためにFeが0.7~1.0% (JIS規格では1.3%以下)添加されている。しかし、Feは $\beta$ Al-Si-Fe金属間化合物を形成して延性や靱性を低下させる。したがって、ADC12を例にとると铸放しでの伸びは1~3%程度で、先に述べたような特殊ダイカスト法によりT6処理をしても大きな伸びの向上は期待できない。また、ADC12では強度を高くするためにCuが1.5~3.5%添加されているが、耐食性を害する要因になっている。そこで、欧州では、サブフレームやストラットハウジングのような重要保安部品には、Feの含有量を少なくし、焼付や型侵食を防止するためにMnを添加した材料が開発・実用化されている<sup>(17)</sup>。また、耐食性を良好にするためにCuの代わりにMgを添加して強度を確保している。

図12(a)に、Al-10Si-0.5Mg系合金ダイカストのマイクロ組織を示す。比較のため(b)ADC12も示した。Feの含有量は0.15%以下、Mnは0.5~0.8%添加されている。Al-10Si-0.5Mg系合金ダイカストのマイクロ組織は $\alpha$ -Al晶と微細な共



# 自動車用マグネシウムダイカスト技術動向

武田 秀\*

## 1. はじめに

京都議定書締結以降、CO<sub>2</sub>増加による地球温暖化の問題が大きくクローズアップされ、大幅なCO<sub>2</sub>削減が求められている。特に輸送機器のCO<sub>2</sub>排出量比率は全体の20%近くあり<sup>(1)</sup>、輸送機器の大半を占める自動車の燃費向上は急務となっている。自動車生産数は2013年度には全世界で年間8300万台<sup>(2)</sup>になり、中国・インドなどBRICS諸国の発展とともに年々自動車の需要は増加しており、今後この傾向は続くと考えられる。したがって、地球温暖化防止のための燃費向上(CO<sub>2</sub>排出量削減)は自動車メーカーにとって待った無しの責務となっている。そのため、日・欧・米のCO<sub>2</sub>削減の目標はこれまでになく厳しくなり、2020年の欧州の燃費(CO<sub>2</sub>排出量)規制<sup>(3)</sup>では21.5 km/l(95 g/km)にもなっている。この規制をクリアするために各自動車メーカーは燃費向上の施策をHEV(ハイブリッド車)、EV(電池自動車)、FCV(燃料電池自動車)などエネルギー源を化石燃料から電気化への転換、フリクションの低減、鉄部品からアルミニウム化あるいはマグネシウム化による軽量化、そして日本では車体の小型化(軽自動車化)などが進められてきている。また、電気自動車化はエネルギー効率を大幅に上昇させる反面、車体バッテリーの重量、電気部品の増大など逆に車体重量を増やすことになった。従ってエネルギー源の転換と同時に材料置換などによる重量軽減を進める必要も生じてきている。図1に車両重量と燃費の関係<sup>(4)</sup>を示す。図から判るように単純に軽量化を行うことで、車体重量低減と比例してCO<sub>2</sub>排出量削減ができる。従って比強度、比剛性が高いアルミニウムやマグネシウム合金材料を用いることで車体重量が低減でき、ひいては大幅なCO<sub>2</sub>削減ができるといえる。本稿では、燃費向上のため自動車会社が進めている部品のマグネシウム化の状況を、部品群、材料種別ごとに整理し、当社でのマグネシウムダイカストの量産実績を加味し、自動車のマグネシウム部品の今後の動向を概説する。

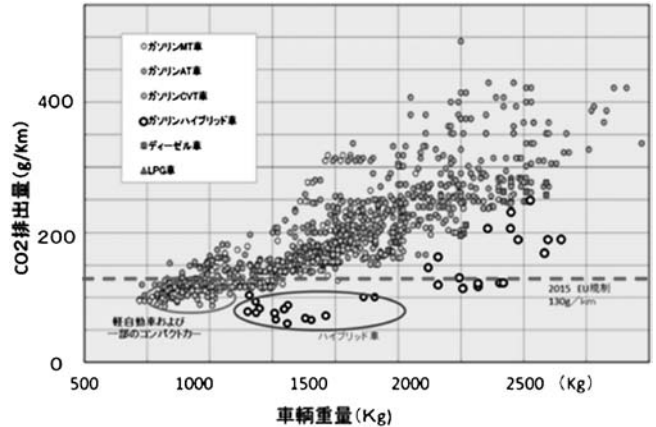


図1 車両重量とCO<sub>2</sub>ガス排出量の関係。

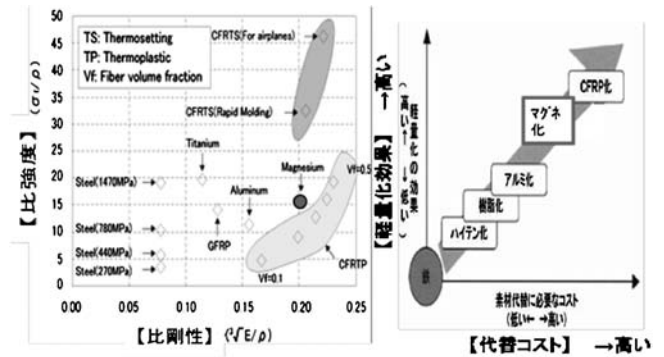


図2 各種材料の比剛性・比強度の位置づけおよび比強度とコストとの関係(概念図)。

## 2. 軽量化アイテムとしてのマグネシウム材料

マグネシウム合金は実用金属としては最軽量で、密度は鉄の1/4、アルミニウムの2/3であり、比強度・比剛性が他の金属に較べ優れており耐食性や高温クリープ性で課題はあるものの、自動車軽量化には今後も使われ続けるべき材料と考えられる。また、図2に炭素鋼、超高張力鋼板、アルミニウム・マグネシウム・プラスチック (ABS, PC)そしてCFRP

\* 株式会社アールスティ テクニカルセンター；技術部(〒441-3114 豊橋市三弥町中原 1-2)  
 Technical Trends of Magnesium Die-casting for Automobile Parts; Suguru Takeda (Ahresty Corporation, Toyohashi)  
 Keywords: magnesium, HPDC, heat resistant alloy, automobile parts, technical trend, creep, bolt  
 2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.594]

やGFRPなどの材料の比強度・比剛性の位置づけを示す<sup>5)</sup>。図を見てわかるように、軽合金が他の金属材料に比べコストは若干割高になるものの、比強度・比剛性が高く、現時点においては、自動車部品の軽量化に寄与する最良の材料と位置づけられるといえる。

### 3. ダイカスト工法とダイカスト用マグネシウム材料

図3にアルミニウム製品の用途別使用量と輸送関連部品の製法別の生産量占有率を示す。図からわかるようにアルミニウムで作られている輸送関連部品の半分以上はダイカストで生産されている<sup>6)</sup>。マグネシウムに至っては構造材用に使われる部品の70%以上はダイカストである。ダイカストは他の鋳造方法と比べ、鋳肌、寸法精度、生産性などで勝っており、現在の自動車部品生産に必要な不可欠な工法となっている。

マグネシウムが初めて車両に使われたのは“Indy 500”で、1921年のエンジンピストンの部品として使われた<sup>7)</sup>。後述するが、1940年代にはVW(フォルクスワーゲン社)がAS系(Mg-Al-Si系)の材料でトランスミッションケースを製造し、その後FORD, GMが多くの部品にマグネシウムを採用するようになった。一方日本では、1960年代には当時としては珍しいアルミニウムパワートレイン関連部品でマグネシウム部品をふんだんに使ったマツダR360クーペが登場した。当時の記録<sup>8)</sup>によると、とにかく軽量化したいとのことで、コストはこの次のようであった。しかしその後継車のキャロルは空冷エンジンから水冷エンジンへ変わったこともあり、コスト高でマグネシウムの使用は途切れてしまった。1980年代にはトヨタ、ホンダがマグネシウムを各所に使い始めた。しかしながら、欧米と比べるとマグネシウムの利用は少ないままである。

#### (1) 汎用マグネシウム合金

ダイカストで使われるマグネシウム汎用合金は主に、シリンダーヘッドカバー、キーロックハウジング、など比較的形狀が複雑な部品に用いられる構造用材料のAZ(Mg-Al-Zn)系合金と、衝撃吸収性が求められ、靱性・延性が要求されるステアリングハウジング、シートフレーム、インストラメントパネルなど車体用材料として使われるAM(Mg-Al-Mn)系合金の二系統がある。これらの合金は基本的にはMg-Alの二元状態図で示されるようにMgリッチ側で、Mgと金属間

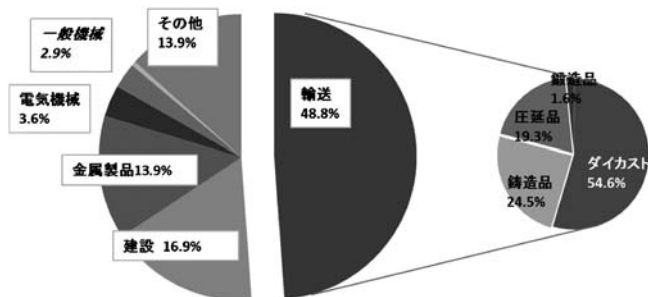


図3 軽合金(アルミニウム)の用途別使用量比率および輸送関連部品の製法別占有率。

化合物 $Mg_{17}Al_{12}$ との共晶合金である。一例としてAM60Bの組織写真を図4に示す。このAl, Mgの基本組成にZn, Mnが適量加えられている。これらの材料は $Mg_{17}Al_{12}$ の時効析出の増加に伴い強度・靱性が向上する。AZ系の場合は $Mg_{17}Al_{12}$ 以外に $Mg_{17}(Al, Zn)_{49}$ の時効析出効果による高強度化もある。Mn添加はMgの耐食性を著しく悪化させるFeをAl-Mn-Fe系の金属間化合物として晶出沈降させ、マグネシウム溶湯中のFeを減らすために入れるものであり、他のマグネシウム合金でも必須な添加元素となっている。

#### (2) 耐熱マグネシウム合金

さて、これら汎用合金中の合金の晶出物 $Mg_{17}Al_{12}$ や $Mg_{17}(Al, Zn)_{49}$ は熱的に高温で不安定となり、およそ393 K前後から著しいクリープが見られるようになる。そのため、エンジンやトランスミッションケースなど温度が高くなるエンジン回りの部品には汎用マグネシウム材の適用は困難となっている。

自動車部品の多くはボルトで各部品を締結するのが一般的であり、特にパワートレイン部品では、この締結した部品の内部には通常エンジンオイルやミッションオイルなど潤滑油が内包しており、締結部からの油の漏れはエンジンルーム内からの火災発生を引き起こす要因にもなり、絶対にはあってはならない。ところが、クリープがあると、時間とともにボルトとの熱膨張の違いも相まって、締結が緩み締結部品の間から油が漏れる事態が生じてしまう。この軸力の低下を防ぐために、既存の汎用合金あるいはマグネシウムにSi, RE(レアアース), Ca, Sr, やその他各種遷移元素を添加し、耐高温クリープ性(以降耐熱性と呼ぶ)を上げた耐熱マグネシウム合金がパワートレイン部品適用のために開発されてきた(図5参照)。また、同時に通常用いられるスチールボルトの代わりに、熱膨張がマグネシウムに近いアルミニウムボルトの採用などが行われている。各種材料の軸力低下特性を図6に示す。

1940年代にVWは、AS系(Mg-Al-Si)の合金AS41(Mg-4%Al-1%Si)を使い高温でも安定な $Mg_2Si$ の晶出を利用して耐熱性を改善し、さらにはAl量を減らし $\beta$ 相( $Mg_{17}Al_{12}$ )の析出を減らしたAS21(Mg-2%Al-1%Si)を利用するようになった。エンジン周りの部品重量は重いので、これらの軽量化効果は大きく、さらなる耐熱性の向上への要求は大きい。そして、1990年代になるとさらに高温特性の改善が強く求められるようになった。

欧州において、ダイムラークライスラーでは2002年にAS41を改良し耐熱性を向上させた、AS31HP(Mg-3%Al-

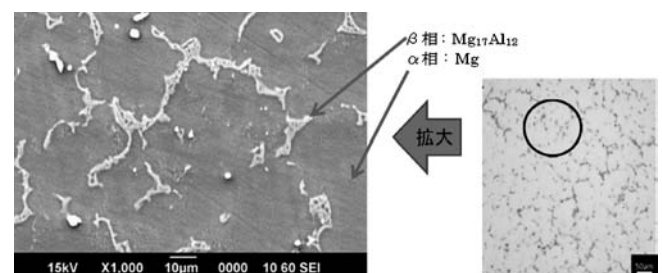


図4 AM60Bの一般的なSEM像。

1%Si系の合金)が使われるようになった。これに続きBMW社は、ノランダ社の開発したマグネシウム合金AJ62(Mg-6%Al-2%Sr合金)をマグネシウム製ブロックに採用した。ただし高温になるエンジンライナー部にはAl-Si過共晶合金を溶射したアルミニウム合金を鑄包んでいる。

日本では1990年代に種々のダイカスト用耐熱マグネシウム合金の開発がなされるようになり<sup>(9)</sup>、実量産ではACM522<sup>(10)</sup>(Mg-5%Al-2%Ca-2.5%RE)を用いたオイルパ

ンがホンダ製ハイブリッド車(初代インサイト)に採用され、三井金属鉱業で製造された。さらにこの合金の鑄造性を改善したAE62Ca<sup>(11)</sup>が開発され、当社が北米Acura向けのマニュアルトランスミッションおよびクラッチケースの生産を行った。この合金はACM522と比較しAl量の増加、Ca量の削減で、鑄造性は多少改善されてはいるものの、AZ91DやAM60Bなどの汎用材に比べ、湯回り・鑄造割れなど鑄造性に劣る。これらの課題を解決するために、様々な生産技術対策(部分加圧、局部冷却、特殊な離型剤、金型温度管理)を欠陥発生部位へ適用し<sup>(12)</sup>、健全性を確保しなくてはならなかった。また、リサイクルにおいてもREやCaなど酸化しやすいため安価に再生リサイクルすることが困難であった。当社に限らず、国内外で開発されている大半の耐熱マグネシウム合金には、REやCaが多量に入っており、耐熱性は大幅に向上し、高温下でもマグネシウムが自動車のパワートレイン部品として使うことができるようになった。しかし上記で述べたような生産性や再生性の問題でコスト高となり日本ではその採用は限定的なものであった。そこで、当社ではこれらの開発経緯と製造実績から、多少耐熱性を犠牲にしても、生産性を加味したコストとその性能のバランスを考慮した合金系を検討し、リサイクルを含めた鑄造工程の改善を行ってきた。2007年には日産自動車のGT-Rのオイルパンに当社製造のマグネシウムが搭載された。このとき用いた合金は、Dead Sea Magnesium社で開発されたMRI153Mである。またこのコンセプトに近い合金としてノルスクハイドロ社のAS31HPもある。これらの材料の高温クリープ特性が抜群によいとはいえないが、鑄造性がよく、トータルコストを加味すればバランスのとれた材料といえる。

既存汎用マグネシウム合金にCaを加え、安価かつ適度な耐熱性を持つ合金の研究<sup>(13)</sup>も進められている。Caの添加により(Mg, Al)<sub>2</sub>Caが粒界に網の目のように形成され良い耐熱特性が得られている<sup>(5)</sup>。耐熱マグネシウムへ添加するREの生産量のほとんどが中国であり、一国寡占状態が続いている。そのため、安定的に材料が入手できない懸念もあり、

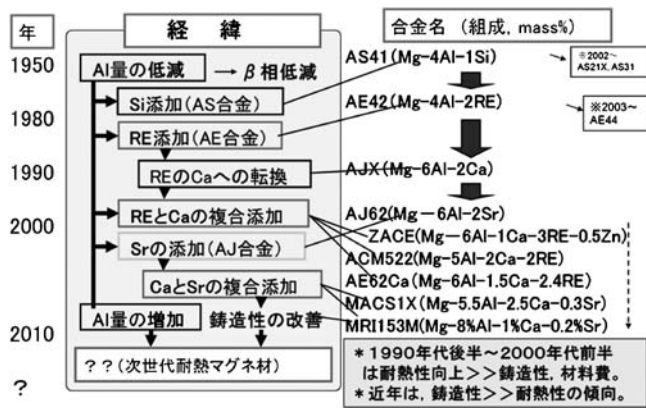


図5 耐熱マグネシウム合金の系譜。

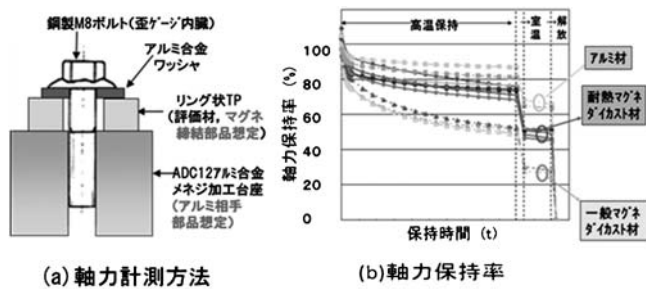


図6 軸力計測方法と高温保持における締結ボルトの軸力変化(圧縮クリープ特性)。

表1 各種耐熱マグネシウムの機械的性質。

項目	温度	AZ91D	MRI153M	MRI153D	ZACE05613	AJ62	AE44	AS41	ADC12
引張強さ (MPa)	R.T.	240	240	230	215	218	210	197	280
	100°C	229	207	210	196	195	165	154	260
	150°C	166	180	200	166	154	140	153	240
0.2%耐力 (MPa)	R.T.	145	150	160	130	124	109	136	185
	100°C	123	126	150	120	110	93	115	175
	150°C	105	128	135	115	98	88	95	165
伸び (%)	R.T.	5	4	2	2	6	8	3	0.5
	100°C	9	8	4	6	12	16	10	1
	150°C	14	13	8	9	15	23	17	2
疲労強さ (MPa)	R.T.	71	64	70	60	55	63	45	105
	100°C	42	46	44	41	41	43	38	75
	150°C	30	34	32	31	33	30	28	50

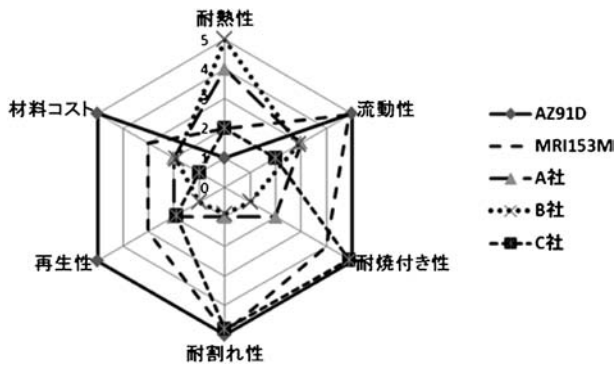


図7 各種耐熱材料の特性比較.

RE 使用量の少ないこれら材料は安定的に自動車メーカーに供給ができる点で良いともいえる。

これら一連の耐熱マグネシウム合金の特性を表1に、鋳造性など量産性の評価を図7のレーダーチャートに示す。尚、図では5点を最良として各種量産性を定性的に評価した。

#### 4. マグネシウム材料の自動車への適用

本節では国内外で実際に量産に使用されたマグネシウム自動車部品を部位別に紹介し、今後のトレンドを考える。

##### (1) パワートレイン部品での実施事例

前述のように AZ91D は一般の構造部材として多く使われている。特に、温度がさほど高くないロッカーカバー、インテークマニホールドなどのパワートレイン系の部品への適用が多い(図8(b),(c),(d)参照)。また、一部トランスミッションケースなどにも使われていた(図8(a),(e)参照)。しかし最近では、これらの部品の中で温度の上からない部位の構造部品は樹脂製品となりつつある。また、前述のように高温特性が要求されるトランスミッションケース、クラッチハウジング、オイルパンなどのパワートレイン部品には耐高温クリープ材料が使われている。これら耐熱材料を用いた実施事例を図8(f)~(j)に示す。

##### (2) 内装部品での実施事例

内装部品の多くは衝突の際、搭乗者と接触することが考えられ、その製品が割れたり、折れたりすることは搭乗者への安全確保の点で絶対に避けなければならない。そのため、内装部品の多くは延び・靱性のある AM 系のマグネシウム合金が使われる。実際、図9に示したように、ハンドル回り、エアバッグプレート、シートスタンションなど搭乗者と密な位置にある部品には AM 系の材料が使われている。

##### (3) 車体・シャーシ部品への適用

車体・シャーシ部品は内装部品と同じく、延性/靱性が要求される車体系の部品であり、AM60B/AM50Bなどのマグネシウム合金が使用されている。比較的大物のドアインナー、バックドアインナーやクラスターパネルのような大物にも使われている。また、ノルスクで開発された AE44 (Mg-

	a) T/M ケース 使用材料: AZ91D 自動車会社: VW 年代: 1940代		f) L6エンジンブロック 使用材料: AL62X 自動車会社: BMW 年代: 2004
	b) インテークマニホールド 使用材料: AZ91D 自動車会社: BMW 年代: 2003		g) エンジンオイルパン 使用材料: ACM622 自動車会社: ホンダ 製造会社: 三井金属鉱業 年代: 1999
	c) ロッカーカバー 使用材料: AZ91D 自動車会社: いすゞ 製造会社: アーレスティ 年代: 2001		h) オイルパン 使用材料: MR1153M 自動車会社: 日産自動車 製造会社: アーレスティ 年代: 2007
	d) PCUケース 使用材料: AZ91D 自動車会社: ホンダ 製造会社: アーレスティ		i) トランスミッションケース、クラッチハウジング 使用材料: AE62Ca 自動車会社: ホンダ 製造会社: アーレスティ 年代: 2003
	e) R360クーペ/パワートレイン関連部品/トランスミッションケース、タイミングケースカバー、クラッチハウジング、他 使用材料: AZ91D 自動車会社: マツダ		j) 7速T/Mケース 自動車会社: タイムラ 使用材料: AS31X 製造会社: Honsel 年代: 2002年

図8 パワートレイン部品へのマグネシウム合金使用例.

	a) ステアリングアッパーブラケット 使用材料: AZ91D 自動車会社: トヨタ 年代: 1984		d) シートフレーム 使用材料: AM60B 自動車会社: 日産自動車 年代: 2004
	b) ハンドル芯 使用材料: AM60B 自動車会社: ホンダ 年代: 1986		e) ステアリングコラムジャケット 使用材料: AM60B 自動車会社: トヨタ 年代: 2000
	c) ステアリングメンバー 使用材料: AM60B 自動車会社: 日産自動車 年代: 2004		f) エアバッグプレート 使用材料: AM60B 自動車会社: トヨタ 年代: 2002
			g) シートスタンション 使用材料: AM60B 自動車会社: FORD 年代: 1988

図9 内装部品へのマグネシウム合金使用例.

4%Al-4%RE)は耐熱合金ではあるが、延性があるため、エンジンクレイドルにも適用されている(図10参照)。

##### (4) マグネシウム合金の使われ方と代替材料

(1)~(3)に実施事例を示してきたが、前述のように単純に軽くするだけの部品の場合、マグネシウム材料を使用するメリットが少ないため、構造材として使われてきた AZ91D で使われている多くの部品では樹脂化がさらに進むと思われる。しかしながら、AM 系材料は樹脂より延性・靱性が勝っているため車体系の部品になお多く使われる。そのため、十数年前までは鋳造用の汎用マグネシウム材料の主流は AZ91D であったが、現在は AM 系材料が主流になりつつある。また、マグネシウム材料が耐熱性に問題があったとしても、放熱性が樹脂より勝っていることなどもあり、樹脂への転換の難しい場所では、さらなる軽量化のために耐熱マグネシウム使用は拡大すると考えられる。



図10 車体・シャーシへのマグネシウム合金の適用事例。

## 5. 自動車部品マグネシウム化の課題と今後

### (1) 自動車部品マグネシウム化の課題

マグネシウム合金には、“ガルバニック腐食，易燃性，難塑性加工性，高温クリープ”という課題がある。これら課題の多くは技術的に解決できないものではなく，解決するのに現在の技術ではコストがかかりすぎることが問題である。例えばマグネシウムが易燃性であるがために，空気と直接触れないような炉構造や給湯装置が必要となり，設備費がかさむ。ガルバニック腐食対策も同じで，異種金属間に絶縁物の挿入や，表面処理の実施で基本的に解決できる問題であり，塑性加工についても加工温度を上げ熱間での塑性加工を行えばそれなりに対応できる。これらの処理は既存の材料に比べ大幅にコストがかかることになる。自動車へのマグネシウム展開は，軽さを求めつつ，鉄鋼材料やアルミニウム材料，プラスチック材料に対峙できるようなコストパフォーマンスを求める開発が必要ということになる。

### (2) マグネシウムの自動車部品適用拡大の産学協同活動

コスト上の技術課題があり，現在日本マグネシウム協会では新たに研究委員会を設立し，主要な自動車会社，ダイカスターなど関連する企業が集まり，新たに共通したマグネシウム合金の開発を始めようとしている。この動きは欧米のEUROCARBODY, USCARS などと同様，産学官一体となり材料や評価方法の共通化を図ろうとする狙いと同じであり，また軽金属学会でも自動車適用を増やすための研究部会が結成されるなど，自動車の軽量化の動きは加速されると考えられる。

### (3) 今後の自動車部品としてのマグネシウムの動向

海外ではマグネシウム合金は自動車の種々の部品に使われているが，日本国内では使われ方が少ない。これは前述のコストに起因すると考えられる。そのため日本では高級車への適用が大半であり，安価な車両への適用は少なく，マグネシウムの使用が限定されていることは否めない。特に対策コストのかかる腐食が懸念される部位への使用は少ない。さら

に，日本国内において鉄部品の溶接技術，薄肉化技術が他国のそれを凌駕し，コスト的にも安価にできるため，鉄部品の代替が進まないなどの理由もある。一方，ヨーロッパ(特にドイツ)では生産者と顧客が同じ環境志向を持っており，自動車が軽くなることは地球環境に良いことであり，多少コスト高になっても顧客はそれを容認し，その自動車を購入する傾向にある。また，アメリカでは元々車体重量が重いこともあり，ペナルティを避けるために待ったなしの軽量化を行わざるを得ないということもある。これらの理由もあり，欧米でのマグネシウム化は大幅に進んでいる。

## 6. おわりに

これまで述べてきたように，マグネシウムは実用金属の中で最も軽量であり，省エネルギーが叫ばれている中，熱放散性，比剛性，比強度などを考慮すると，自動車部品の軽量化では非常に重要な金属ではある。そのため以前からこの材料を用いた多くの自動車向け部品化が試みられてきた。しかし，自動車部品を実現するためには多くの付加技術，設備が必要となり，決して安価にできるものではないのが実情である。超高張力鋼板の薄肉化，炭素繊維強化プラスチック(CFRP)などこれに替わる材料が見え隠れする中，軽量化の競争がますます激化している。今後さらにマグネシウムを使いこなすには，コストを押し上げている技術を含めた要素技術の改善・開発が必要であろう。

## 文 献

- (1) 国立環境研究所，日本の温室効果ガス排出量データ。
- (2) 日本自動車工業会：世界生産・販売・保有・輸出，表1：世界各国/地域の四輪車生産台数。  
[http://www.jama.or.jp/world/world\\_t2.html](http://www.jama.or.jp/world/world_t2.html)
- (3) 国土交通省，自動車燃費一覧(平成19年3月，第30版)。
- (4) 一般社団法人アルミニウム協会：第2表 アルミ地金および同1次加工製品需要実績総括表2013年度(4-3月期)。
- (5) 才川清二：浜松産業創造センター講演会(2010.02.09開催)資料。
- (6) 一般社団法人マグネシウム協会：国内マグネシウム2013年需要実績。
- (7) R. E. Brown: presentation at Materials Science & Technology Conference, Pittsburgh, PA, USA, October(2008), 5-9.
- (8) 軽金属協会マグネシウム委員会；マグネシウムニュース No. 7, 1-3 (1960)。
- (9) I. A. Anyanwueta, *et al.*: Mater. Trans. **44**(2003), 562-570.
- (10) 鎌田康仁郎：鑄造工学，**76**(2004)，962-966.
- (11) 榊原勝弥：素形材，**9**(2009)，42-45.
- (12) 石田武敏 他：日本ダイカスト会談論文集；JD06-32，(2006)，211-216.
- (13) 太田宗貴 他：軽金属学会第122回大会講演概要，(2012)，263.



武田 秀

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1978年 東北大学工学部金属材料工学科卒  
 2002年 株式会社アーレスティ マグネシウム事業部長  
 2007年 アーレスティインディア 社長  
 2012年 アーレスティ技術部長  
 2014年 定年退職後，現職  
 専門分野：軽合金(Al, Mg)ダイカスト工法および材料開発  
 ◎ダイカスト用特殊冷却法の開発や耐熱マグネシウム材料開発・量産化に従事。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



# 自動車エンジン用トライボロジー材料技術の動向

坂手 宣夫\*

## 1. はじめに

地球規模での環境破壊や資源枯渇問題に対応するために、あらゆる分野において、環境負荷低減や省資源のための努力が続けられている。自動車産業界においても、軽量化やエンジン効率向上による燃費向上、エタノール等の非化石燃料対応や電動化による使用エネルギーの多様化等が進められている。この中のエンジン効率向上に着目すると、エンジンは非常に多くのしゅう動部を有するために、摩擦損失低減が重要な技術課題のひとつになっている。近年、この摩擦損失を低減する目的で、低摩擦表面処理を始めとする多くのトライボロジー材料技術が開発され実用に供されている。また、エンジンの小型軽量化を図る上では、しゅう動部の耐摩耗性向上が課題になることが多く、この観点でも新たな表面処理の適用が進められている。本稿では、摩擦低減を目的とした表面処理を中心に自動車エンジン用トライボロジー材料技術の動向を概説する。

## 2. エンジンの摩擦損失および摩擦低減の考え方

エンジンは、燃料の燃焼エネルギーを動力に変換する際に、排気損失、冷却損失、摩擦損失等の損失を伴う。Holmbergらは、乗用車が60 km/hで走行する際に、燃料の持つ化学エネルギーの11.5%が、エンジンの摩擦損失として消費されると試算している<sup>(1)</sup>。エンジン内部には、図1に示すように、カムシャフト/フォロア、ピストンスカート・ピストンリング/シリンダボア、クランクシャフト/軸受等の主なしゅう動部がある<sup>(2)</sup>。これらの部位において発生する摩擦損失は、エンジン全体の摩擦損失の大部分を占めている(図2)<sup>(3)</sup>。

これらのしゅう動部は、損傷防止と摩擦低減の目的で、エンジンオイルにより潤滑されている。一般に、オイル潤滑下における摩擦係数は、オイル粘度、しゅう動速度および荷重のしゅう動条件により整理される。この関係を示す図は、ス

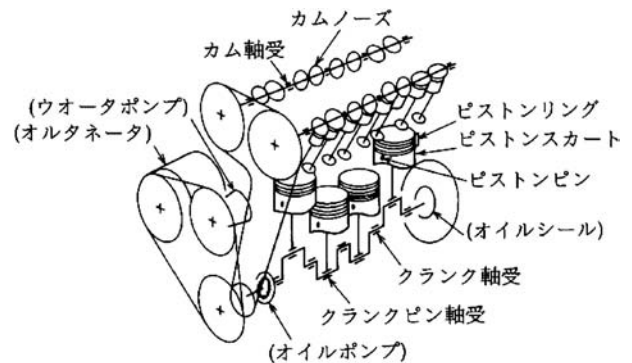


図1 エンジン内部の主なしゅう動部。

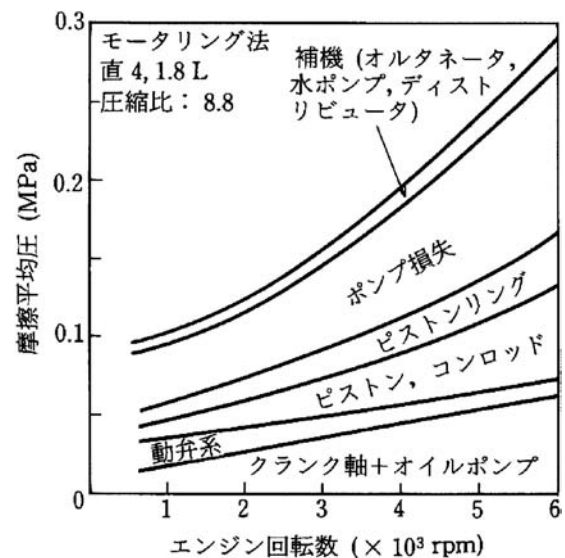


図2 ガソリンエンジン各部の摩擦損失。

トライベック線図と呼ばれ、潤滑状態は、境界潤滑、混合潤滑および流体潤滑領域に分類される(図3)。エンジン各部のしゅう動条件は、大きく異なり、全潤滑領域にわたる。摩擦を低減するための考え方は、各潤滑領域において異なる。

\* マツダ株式会社技術研究所; 主幹研究員(〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1)  
Trend of Tribology Material in Automotive Engines; Nobuo Sakate(Technical Research Center, Mazda Motor Corporation, Aki-gun, Hiroshima)  
Keywords: tribology, low friction, diamond-like carbon(DLC), automotive engine, friction loss, valve train, piston ring, cylinder bore  
2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.599]

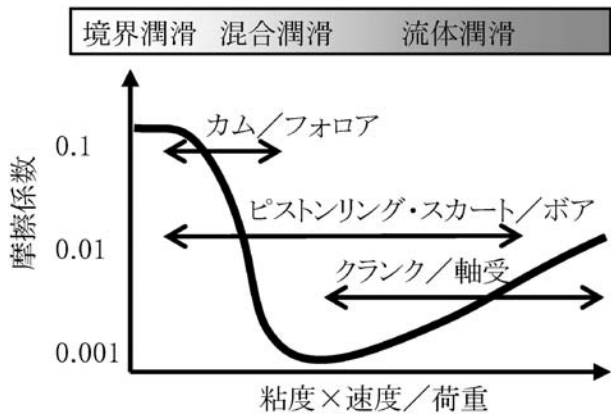


図3 ストライベック線図.

流体潤滑領域では、両部材の接触は無く、油膜を介して相対している。この領域での摩擦低減は、エンジンオイルの粘度低減や摩擦面積の縮小が有効である。混合潤滑領域では、部材表面の一部が接触した状態になる。摩擦面の平滑化や微細形状の工夫により、油膜を効果的に形成する方法が摩擦低減に有効である。境界潤滑領域では、さらに両部材の接触割合が大きくなる。潤滑性の高い表面処理の適用やエンジンオイルへの摩擦調整剤の添加が摩擦低減に有効である。

### 3. 動弁系

吸気・排気バルブをカム機構により開閉する動弁系の種類には、バルブリフターを用いる直打式やこの原理を応用したロッカーアーム式等があり、エンジンの設計思想により選択されている。近年では、摩擦損失低減を目的として、カムとの接触部にニードルベアリングを内蔵したローラーを配置したローラーロッカーアームの使用が増加している<sup>(4)</sup>。一方で、カムとのすべりを伴う直打式やロッカーアームは、コンパクト化や高回転化等の利点があり、現在も多用されている。

すべりを伴うカム/バルブリフター、カム/ロッカーアーム間の摩擦は境界潤滑から混合潤滑領域にあたり、摩擦面の平滑化が摩擦低減に有効である。摩擦をさらに減じる手法として、潤滑性の高い表面処理の適用が行われている。この表面処理には、高面圧に耐える優れた耐摩耗性も要求される。代表的なものとして、バルブリフターのカムとのしゅう動面に DLC (diamond-like carbon) コーティングを適用した事例が挙げられる。油性剤吸着効果のある水素フリーの DLC が採用された事例では、無灰系摩擦調整剤を添加したエンジンオイルとの組み合わせにより、40%の摩擦低減効果が得られている。水素フリー DLC の摩擦低減メカニズムを図4に示す<sup>(5)</sup>。F1 レース用エンジンにおいては、ロッカーアームとカム両部材のしゅう動面に DLC コーティングが施され、摩擦低減と耐久性向上が図られている。両部材の DLC の組み合わせを摩擦低減と焼き付き限界向上の観点で検討を行い、カム側の DLC の硬度は、ロッカーアーム側の1.3倍としている<sup>(6)</sup>。また、他のレース用エンジンのバルブリフターやカム

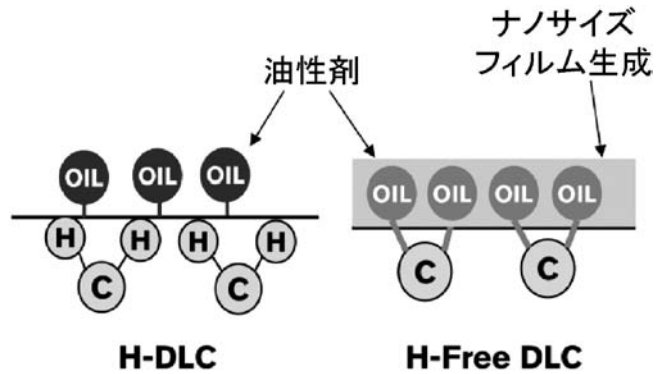


図4 水素フリー DLC の摩擦低減メカニズム.

において、DLC コーティングに直径10から 200  $\mu\text{m}$  程度の円形のピットをレーザービームにより加工したマイクロテクスチャリング技術が使用されている<sup>(7)</sup>。

## 4. ピストン系

### (1) ピストンリング

乗用車エンジンのピストンには、通常、3本のピストンリングが装着されている。燃焼室を気密するためのトップリング、セカンドリングと呼ばれるコンプレッションリングおよびシリンダボアに付着した余分なオイルを掻き落とすためのオイルリングである。これらのピストンリングは、ピストンの往復運動に伴い、シリンダボアとしゅう動する。ピストンリングの表面処理は、高質クロムめっきや窒化が用いられることが多い。より高い耐摩耗性が求められるディーゼルエンジンでは、PVDによる CrN コーティングが多用されている。また、CrN コーティングは、摩耗による張力低下が少なく、初期に低い張力設定が可能になり、摩擦低減効果が得られるので、近年、ガソリンエンジンでの採用が増えている<sup>(8)</sup>。最近では、バルブリフターに採用されていた水素フリー DLC がピストンリングにも適用されている。図5は、ピストンリングの表面処理として、この DLC と従来の硬質クロムめっきを適用した場合のピストン/シリンダボア間の摩擦損失をエンジン試験で比較評価した結果である。図5 縦軸の FMEP は、Friction Mean Effective Pressure (摩擦損失平均有効圧力) の略であり、エンジンの摩擦損失の大きさを示す指標である。DLC 適用による 2000 rpm における摩擦損失低減率は、コンプレッションリングに適用した場合は 12%、オイルリングに適用した場合は 6%となっている<sup>(9)</sup>。

### (2) ピストンスカート

ピストンスカート部には、シリンダボアとの摩擦低減や焼き付き防止の目的で、以前より、二硫化モリブデン等の固体潤滑剤の粒子を樹脂バインダーに配合し塗布するコーティングが用いられている。また、二硫化モリブデン粒子をショットピーニングにより、表面に埋め込む方法も使用されている。最近では、二硫化モリブデンコーティングに円形のくぼ

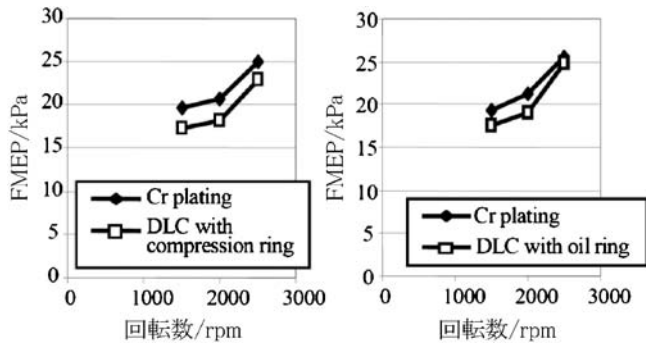


図5 DLC ピストンリングの摩擦低減効果.

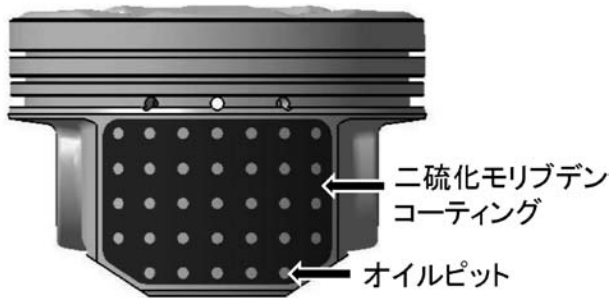


図6 ピストンスカートのパターンコーティング.

みを形成したパターンコーティングが開発され実用されている(図6). エンジン回転 1500 rpm におけるエンジンの摩擦損失は, 従来のコーティングに比べて2%, ショットピーニングに比べて1%の低減が図られている<sup>(10)</sup>.

### (3) シリンダボア

乗用車用エンジンのシリンダブロックは, アルミニウム合金製で, シリンダボアに鋳鉄製ライナが挿入されているものが一般的である. ピストンリングとの摩擦を低減する目的で, ボア表面の微細形状の工夫による潤滑オイル保持性の改善や油膜厚さの制御等の方法が検討されている.

ピストンは, クランク機構により往復運動するので, その速度は, 上・下死点近傍では小さく, 両死点中間部では大きくなる. 速度の大きい領域では, ボア/ピストンリング間は流体潤滑状態になる. 図7に示すディンプルテクスチャリングは, この領域での摩擦低減を狙い検討されたものである. ボア表面に50%の面積率で円形のくぼみを形成したシリンダライナとオイルリングとの摩擦を評価し, 30%の摩擦力低減効果が確認されている(図8)<sup>(11)</sup>. また, 鋳鉄ライナを用いず, シリンダボアに溶射やめっき加工等の表面処理を施す方法も検討されている. これらの方法では, 摩擦低減に加えシリンダブロックの軽量小型化メリットも得られる. これらの中で, 鉄系材料のアーケ溶射適用により摩擦低減を検討した事例を示す. 溶射後にホーニング加工した表面には, ピットと加工傷が形成される(図9). ピットの面積率と表面粗

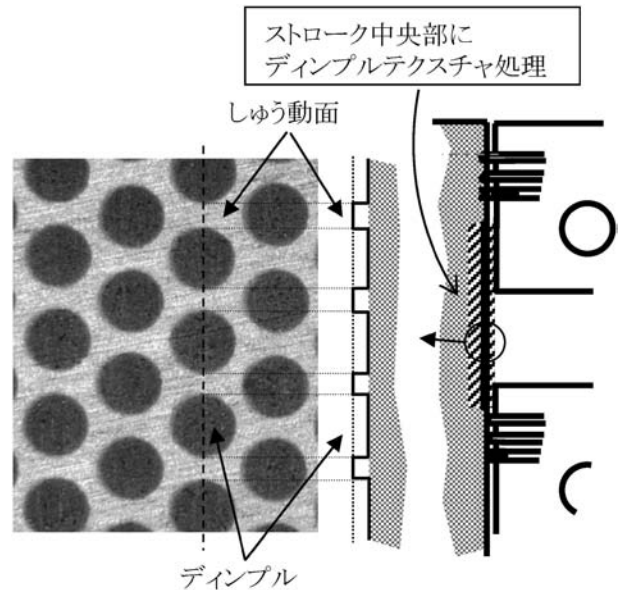


図7 シリンダボアのディンプルテクスチャリング.

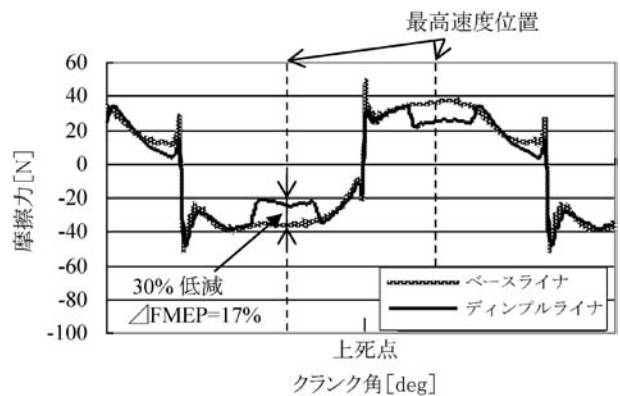


図8 ディンプルテクスチャリングの摩擦低減効果.

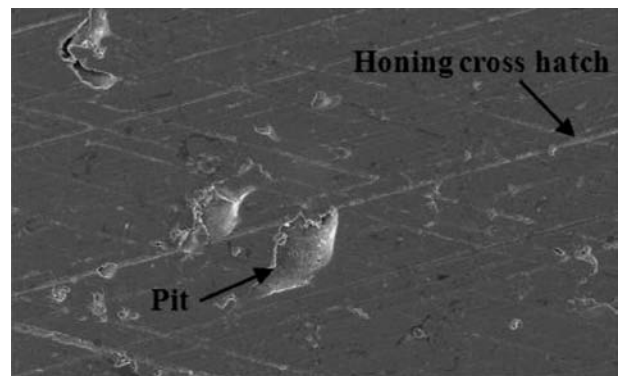


図9 アーク溶射後ホーニング加工した表面のSEM像.

さを最適化した結果, 鋳鉄ライナよりも低摩擦で高い耐焼き付き性が確認されている<sup>(12)</sup>.



## FSW 技術と自動車への適用例

大石 郁\* 藤井 英俊\*\*

## 1. 摩擦攪拌接合とその特徴

摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) および摩擦攪拌点接合 (FSSW: Friction Stir Spot Welding) は、今からおよそ20年ほど前にできた比較的新しい接合法であるが<sup>(1)</sup>、その優れた特性から、自動車だけでなく、鉄道車両、土木構造物、船舶等の様々な産業分野で幅広く実用化されている<sup>(2)~(9)</sup>。

本手法は、 $\phi 10\sim 20$  mm 程度の円柱状の工具(回転ツール)を材料に押し当てることにより摩擦熱を発生させ、この回転ツールを界面に沿って移動させながら接合する方法である(図1)。自動車産業では、重ね接合にこれを用いることが多く、後述するように(図4)、回転ツールを試料に押し当てたのち、移動させずに接合を完了させる摩擦攪拌点接合を用いることが多い。

本手法は、融点以下、すなわち固相の状態での接合可能であ

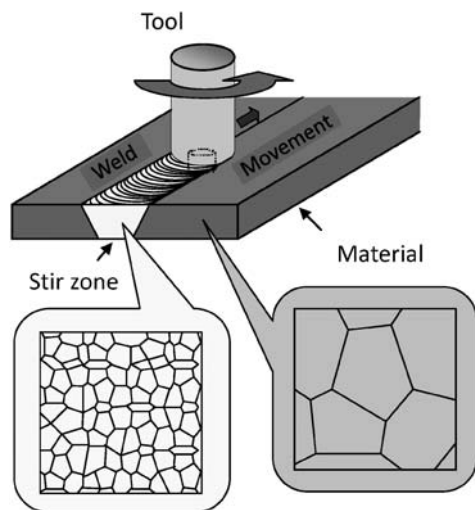


図1 FSW(摩擦攪拌接合)。

る点が最大の特長であるが、鉄鋼材料では、それに留まらず、 $A_1$ 点(変態温度)以下での接合が可能であることが明らかになってきた<sup>(10)(11)</sup>。この場合、変態を伴わないため、炭素量に関係なく接合可能であることから、炭素を多く含む高強度な高炭素鋼の接合を可能にする技術として注目されている。

FSWは固相で接合するため、以下のような種々の優れた特徴を有する。

- (1) 接合部における結晶粒の粗大化が抑制され、強度低下が小さい。また、回転ツールによる攪拌効果のため、結晶粒を微細化することも可能で、母材より強度が向上する場合もある。
- (2) 変形が小さい。アーク溶接(ミグ)の数分の1以下である。
- (3) これまで接合が困難であった2000系や7000系のアルミニウム合金、あるいは鋳造材や複合材料の接合も可能である。
- (4) 異種材料の接合に適している。
- (5) 開先加工や接合時の前処理が不要である。
- (6) 接合中にヒューム、スパッタ、紫外線等の発生がない。
- (7) 気孔、割れなどが発生しにくい。
- (8) アルミニウム合金の接合の場合には、シールドガスが不要である。鉄鋼材料の場合には必須ではないが、接合表面の酸化を防ぐために、シールドガスの使用が望ましい。
- (9) 原則、フィラーが不要である。
- (10) 接合部から合金成分の蒸発がほとんどない。
- (11) 熟練技術が不要である。ただし、実施工のためには、FSWオペレータの認証を受ける必要がある。
- (12) 鉄鋼材料では、高張力鋼など一部の材料を除いてHAZ軟化が生じにくい。
- (13) 鉄鋼材料の場合、 $A_1$ 点以下での接合が可能であり、鋼材の炭素量に依存することなく接合できる。

一方、以下のような問題点がある。

- (1) 剛性のある拘束治具が必要である。
- (2) ギャップの許容範囲が狭く、接合部の目違い、ギャップ

\* 広島県立総合研究所；副主任研究員(〒737-0004 呉市阿賀南2丁目10-1)

\*\* 大阪大学接合科学研究所；教授

Technical Topics and Automobile Applications of Friction Stir Welding; Kaoru Ohishi\* and Hidetoshi Fujii\*\* (\*Hiroshima Prefectural Technology Research Institute, Kure. \*\*Joining and Welding Research Institute, Osaka University, Ibaraki)

Keywords: friction stir welding (FSW), friction stir spot welding (FSSW), solid phase welding, aluminum alloy, dissimilar metals

2014年8月4日受理[doi:10.2320/materia.53.603]

の制御が必要である。

- (3) 接合終端部に穴が残る。
- (4) 裏面にキッシングボンドといわれる未接合部が生成しやすい。
- (5) すみ肉継手などの複雑形状の部材の接合が困難である。
- (6) 高融点金属の材料に対しては、ツールの寿命等の課題が残る。

しかし、これらの問題点に関しても解決の方向にある。(2)に関しては、FSWでは約1mm程度のギャップ裕度しかなく、ギャップが2mm以上になると欠陥が発生するが、ギャップに粉末を充填しながらFSWを行うことにより、3mm程度まで裕度が広がると報告されている<sup>(12)</sup>。

(3)、(4)に関しては、ツールのプローブとショルダが別々に駆動する複動式ツールが有効である<sup>(13)</sup>。FSSWにおいても、ショルダ部の外側にバリの発生を防止する治具を備え、ショルダ部から試料内に挿入することで、接合穴を残さない、フラットな接合部が得られる手法も開発されている。また、(5)に関しては、プローブのみを回転させて接合する方法が、すみ肉溶接には有効であるとされている<sup>(14)</sup>。(6)に関しては、種々のツールの開発により鋼等のFSWも可能となってきた。

図2に接合部の模式図を示すが、接合部中央には、攪拌部と言われる微細な等軸晶からなる再結晶組織が存在する。攪拌部の外側には、塑性変形により結晶粒が伸びた形状を持つ熱加工影響部(Thermo-Mechanically Affected Zone, TMAZ)、その外側には、塑性変形は受けていないが、熱の影響を受けた熱影響部(Heat Affected Zone, HAZ)が存在する。

強加工後に、摩擦による昇温を伴うのがFSW、FSSWの特徴で、これにより、一般に数100nm～数 $\mu\text{m}$ の微細な等軸晶が得られる。このような微細な組織によって得られる機械的特性は良好であるため、本プロセスは、接合のみならず、素材の改質にも使用可能である。

## 2. 自動車への適用例

近年、自動車業界では排出ガスに対する規制が厳しくなっており、また市場の環境保全意識の高まりからCO<sub>2</sub>排出削減、燃費向上が急務となっている。対策としてエンジン性能の向上、アイドリングストップ機能の付加など様々な技術が導入されている。さらに、これらの対策と並行して自動車車両の軽量化が注目を集めており、その軽量化の材料の一つとしてアルミニウム合金が用いられている。日本では抵抗

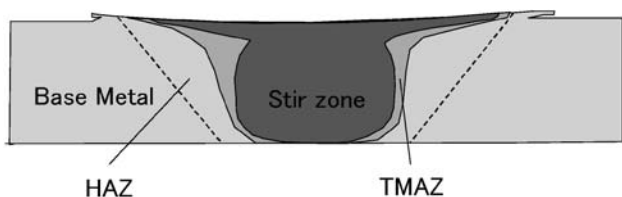


図2 断面組織の模式図。

スポット溶接を実施している工場が多く見られる。しかし自動車の軽量化のためにアルミニウム合金を抵抗スポット溶接するには大電流が必要であり、そのための設備の新設(増設)が必要となってしまう。またリベットなどの接合方法もあるが副資材が増えることによる管理負担やコストの問題、接合部の強度、施工能率などの面で一部の適用となっている。そうした問題を解決するために前章で説明した摩擦攪拌接合FSWや摩擦攪拌点接合FSSW(SFW, FSJ)が開発され、有力な接合技術として導入されてきている。以降に自動車に適用された実用例を示す。

### (1) マツダ株式会社における適用例

#### (a) RX-8(アルミニウム合金同士の接合)

開発された摩擦攪拌点接合は図3に示す2003年販売のマツダ・RX-8のボンネットおよびリアドアにて採用された<sup>(15)(16)</sup>。このボンネットやリアドアを製造する工場では図4に示すSFWロボットシステムによる接合が実施されている。これは回転する接合ツールがリアドアなどの接合箇所へ動き、挿入して、接合時の圧力を制御して接合するプロセスを採る。接合ツールがワークを把持する際、付加する加圧力はその姿勢による駆動部にかかる重力の影響により変化するため、姿勢変化に対する補正機能付加など制御するための工夫が施されている。



図3 FSSW(SFW)を採用したRX-8とリアドア。

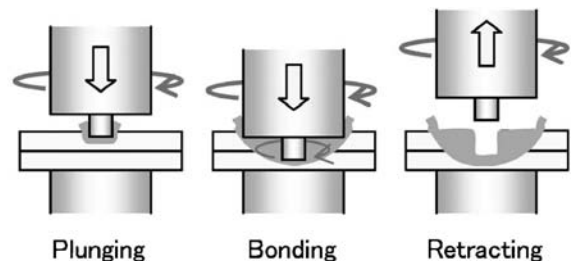


図4 FSSW(SFW)接合の概略図とロボット写真。

このように開発された FSSW は、抵抗スポット溶接のようなスパッタやヒュームなどが発生しないため工場内の作業環境が向上した。また付帯設備が少ないため、抵抗スポット溶接機と比較して工場内の省スペース化を実現した。コストについては電力が約 1/80 に抑えられており、また接合時間への影響についても生産効率の低下に影響は与えていない状況である。接合ツールも消耗が極めて少なく長寿命であるため、ツール交換の手間などを省くことができた。

現在、マツダ㈱だけではなくトヨタ自動車㈱のプリウス、クラウン、SAI、レクサス(GS, IS, LS, HS, CT)などでも摩擦攪拌点接合が適用され、用途先が拡大しつつある<sup>(17)</sup>。

(b) ロードスター(アルミニウム合金/鋼板の接合)

現在、自動車の軽量化に対してアルミニウム合金だけで構成すると強度とコストを両立することが困難なことから、アルミニウム合金と鋼などを組み合わせたマルチマテリアル化が進められている。しかしアルミニウム合金と鋼板の接合において、抵抗スポット溶接などの熔融溶接では、接合界面に金属間化合物が形成され、接合強度に悪影響を及ぼす問題が発生する。

一方、摩擦攪拌(点)接合は、接合時の入熱量が少ないことから金属間化合物の形成がない(少ない)特徴がある。マツダではアルミニウム合金板とめっき鋼板の FSSW 接合に取り組んだ。これは図 5 に示すとおり接合ツールを特定の加圧力で材料表面に押し付け、接合ツールとアルミニウム合金板との攪拌時の摩擦抵抗による発熱で上板のアルミニウム合金板とめっきを軟化させる。そして接合ツールによって軟化したアルミニウム合金板が塑性変形することにより接合界面の酸化皮膜が破壊され、同時に界面のめっきも除去される。この結果、めっきが無くなった範囲ではアルミニウム合金板およ

び鋼板の新生面同士が直接接触することが可能となり、さらに上下のツールで材料を把持することで、新生面同士の冶金的な接合が進むことで高い接合強度を可能とした。

この接合技術は、図 6 に示す 2005 年に発売を開始したロードスターのトランクリッドの部品(ヒンジレインフォースメントと鋼板製ボルトリテーナーの接合)に採用している<sup>(18)(19)</sup>。

(2) 本田技研工業株式会社における適用例

ホンダでは、2012 年 9 月米国発売のアコードのフロントサブフレームに FSW 技術が採用された(図 7)。ただし、ガソリン車とハイブリッド車では求められる軽量化の度合いが異なるため、使用する材料構成が異なる。つまり HV 用バッテリーやモーターなどがあるハイブリッド車では、より軽いオールアルミニウム合金のフロントサブフレームであり、ガソリン車ではアルミニウム合金/GA 鋼板のマルチマテリアル構造を採る。今回はガソリン車について紹介する<sup>(20)-(22)</sup>。

(a) アコードガソリン車(アルミニウム合金/GA 鋼板の接合)

図 8 に示すようにアルミニウム合金側から回転する接合ツールを挿入し、前進角を設けずに FSW・異種金属接合す



図 7 アコードとフロントサブフレーム。

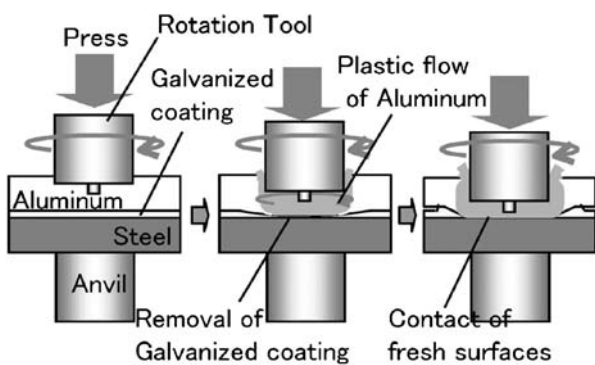


図 5 FSSW(SFW)接合/異種金属接合の概略図。

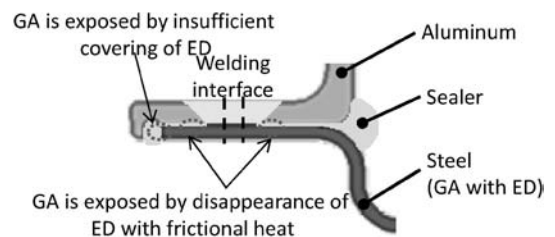
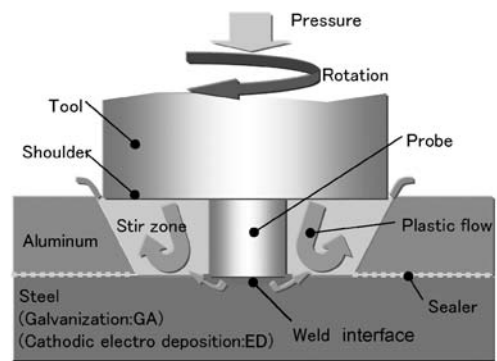


図 8 ホンダ採用の FSW 概略図。



図 6 ロードスターとトランクリッド。

る。使用されるGA鋼板はカチオン電着塗装しており、またアルミニウム合金とGA鋼板の間には、電食防止のために液型変性シリコン樹脂系シール材を挟んだ状態にある。回転する接合ツールのプローブ先端がGA鋼板の表面に挿入されることによって、スチール表面のメッキ層、塗装、シール材を除去し、スチール表面に新生面が現れ、アルミニウム合金と反応して金属間化合物層が形成し接合している。形成する金属間化合物の厚さを1 μm以下に制御することで接合強度を高く保っている。

### (b) 接合時の接合ツールの制御

FSWでは安定した接合状態を管理するために、接合ツールの挿入位置が重要となる。すなわち接合ツールの挿入位置が浅いとメタルフロー領域が小さくなり、金属間化合物も形成されず接合強度も弱くなる。逆にプローブの挿入位置が深いとスチールのフック(巻き上げ)が大きくなり接合強度の低下、また接合ツールの寿命も短くなる問題が発生してくる。

使用する材料の板厚のバラツキや治具を含めたFSW装置自体のたわみなど、接合時には様々な要因が複雑に影響するため接合状態を精密に制御することが難しい。ホンダでは接合時に圧力を感じながら接合ツールの挿入位置を制御することによって接合状態を管理している。さらに接合ツールの材質にNi系合金を用いることでツールの耐久性を向上させ、長時間安定した接合状態を保持している。

### (c) 接合状態の品質管理手法

ホンダではFSW接合部の品質管理はアクティブサーモグラフィの原理を採用している(図9, 10)。これは接合箇所表面に瞬間的にレーザーを照射し、熱を加え、加えられた熱エネルギーが接合材の下部まで移動し、その後反射して表面まで到達するまでの時間、到達時の温度や温度領域を測定する。そして、接合状態①金属間化合物が形成し、強固な接合状態、②上下の異種金属が密着した状態、③シール材・塗装が残った状態によって反射する時間や温度が異なるので、その位相差により接合状態を判断している。位相差と接合強度の関係は事前に調査し、評価シートを用いて各溶接部の品質を管理している。さらに検査時間は瞬間的であり、生産工程を滞らせることがないため全数検査を可能としている。

以上の技術を導入することで、アルミニウム合金/GA鋼板のマルチマテリアル構造が採用でき、従来のスチール製サブフレームに対し25%の軽量化を達成して燃費向上に寄与するとともに、接合製造時の電力消費量も約50%削減できた。

## 3. ま と め

前述した自動車以外にも日産自動車(株)シーマのサスペンションアームではアルミニウム合金押し出し材をFSWにより接合している<sup>(23)</sup>。このように摩擦攪拌接合技術の自動車業界へ実用化は着実に進んでおり、また自動車業界だけでなく航空機や鉄道業界、造船、一般機械に至る様々な分野で拡大してきている<sup>(17)(24)(25)</sup>。また使用する材料としては銅やアル

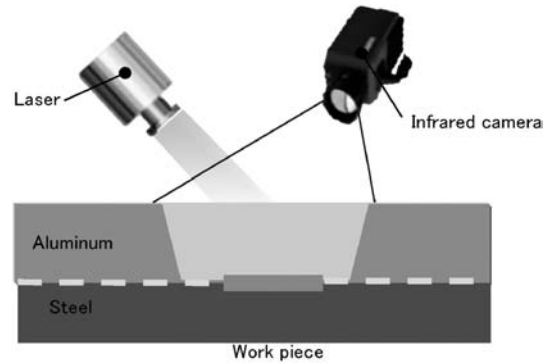


図9 品質管理の概略図。

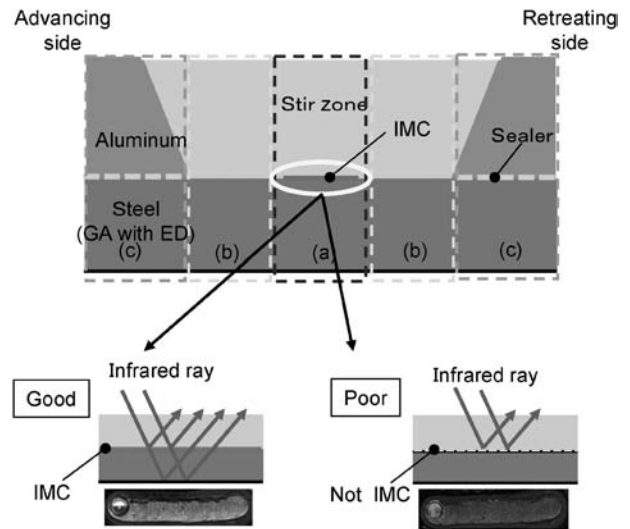


図10 接合箇所の合否判定の概略図。

ミニウム合金が中心であったが、近年鋼板や異種金属接合においても実用化されてきている<sup>(26)</sup>。さらに2015年にはFSWの基本特許が切れることから、ランニングコストが安く、工程内の省スペース化、良好な作業環境などの特徴を活かし、今後さらに実用化が増えていくものと期待される。

## 文 献

- (1) W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needhan, M. G. Murch, P. Temple-Smith and C. J. Dawes: International Patent Application PCT/GB92/02203 and GB Patent Application 9125978.8, UK Patent Office, London, December 6, (1991).
- (2) R. Nandan, T. DebRoy and H. K. D. H. Bhadeshia: Prog. Mater. Sci., **53**(2008), 980-1023.
- (3) R. S. Mishra and Z. Y. Ma: Mater. Sci. Eng. R, **50**(2005), 1-78.
- (4) 摩擦攪拌接合—FSWのすべて—, 溶接学会編, 産報出版, (2006).
- (5) H. Okamura, K. Aota and M. Ezumi: J. Jpn. Inst. Light Met., **50**(2000), 166-171.
- (6) G. Campbell and T. Stotler: Weld. J., **78**(1999), 45-47.
- (7) M. R. Johnsen: Weld. J., **78**(1999), 35-39.
- (8) K. E. Knipstron and B. Pekkarri: Weld. J., **76**(1997), 55-57.
- (9) C. J. Dawes and W. M. Thomas: Weld. J., **75**(1996), 41-45.





# 自動車用焼結部品の現状

藤 木 章\*

## 1. はじめに

焼結部品は複数の金属粉を混合し、金属せっけん系(ステアリン酸亜鉛など)の潤滑剤を添加し、プレスで圧縮成形し、その後高温で焼き固め(焼結)製品とするもので、広い意味での言い方としては“粉末冶金”と呼ばれる。希土類磁石やフェライトなどもある意味で粉末冶金的な作り方で製造されるが、ここでは構造用の焼結部品を主体に解説する。自動車用の焼結部品は鉄系が主体で、鉄粉に銅、黒鉛を添加したものが主流で、他にニッケル、モリブデンなどの合金元素も利用される。成形圧は700 MPa程度で、焼結の温度は1393 K (1120°C)程度であり非酸化性雰囲気中で行われる。近代の粉末冶金は高融点のタングステンを溶解しないで、線にすることから始まり<sup>(1)</sup>一般の機械部品へ応用が拡大し、自動車用としてはGMのオイルポンプが世界初だといわれている<sup>(2)</sup>。現在国内の自動車には9 Kg程度の粉末冶金製品が用いられ、欧州も同等であるが、米国は2倍程度多い。この理由については後ほど説明する。

なお開発品の説明で、社名は開発当時の名前であり、現在社名が変更されている場合もある。

## 2. 自動車に搭載されている焼結部品について

### (1) 一般的な工程によるもの

自動車に搭載されている焼結部品で前記のような通常の工程で作られるものは、主として、エンジンやトランスミッションに多く使われており、エンジンのプーリー、スプロケット、マニュアルトランスミッション(MT)のシンクロハブ、オートマチックトランスミッション(AT)のトルクコンバーターのタービンハブ等が有名である。これらを図1, 2, 3に示す。

米国で量が多いのはATのプラネタリーギアのキャリアや、クランクシャフトとピストンをつなぐコネクティングロッド(焼結鍛造による=後述)、クランクシャフトをささえる

クランクシャフトベアリングキャップなどに粉末冶金製品が使われている場合が日本より多いからである。(日本では鍛造品であったり、鋳造品であったりする)。

これ以外で最近量が増えてきたものが、可変動弁といわれるシステムの部品である。これはエンジンの回転数によりバルブの開閉タイミングや開閉量を変えるもので、これは高速回転になると、慣性で吸入空気が入ってくるため、低速と同じ条件でバルブを開閉すると、合理的でなく、低速回転と高速回転でバルブの開閉時期および開閉量を変化させることにより、燃費向上、排気低減が図れるからである。

### (2) 特殊製造法による製品例

この項目では3つの例をあげる。

#### (a) 温間成形+高温焼結

通常の鉄系粉末冶金では室温で成形が行われるが、これを403 K (130°C)程度の温度で行うと高密度成形ができる。これは原料が純鉄であるため、高々403 Kでも圧縮降伏力が低下するためである。ただし潤滑剤等は特殊なものを用いる。さらに焼結温度を通常の1393 K (1120°C)レベルから1463 K (1190°C)に上昇させることにより高強度材が得られる。もちろん高温焼結すると寸法収縮が大きくなったり、歪も出るので、製造ノウハウが必要となる。この製法で作られたエンジンスプロケットは摩耗が厳しい直噴エンジンのサイレントチェーン sprocket に適用されている<sup>(3)</sup>。図4(日産一日立粉末-ジャトコの共同開発)

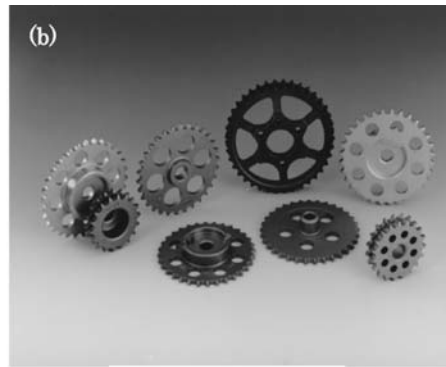
#### (b) 焼結接合(拡散接合)による部品

成形体同士を嵌めあわせ、焼結と共に拡散接合する技術で、事務機部品等では従来からあったが、精度、強度の要求が厳しい自動車部品への適用に日産一日立粉末が1994年に成功し<sup>(4)</sup>(図5)、その後さらにこれが改良され、表面は軟磁性系鉄系材料、芯部は構造系鉄系材料という焼結接合のモーターのローターの作成に本田一日立粉末が成功している<sup>(5)</sup>。ろう付け等によらない拡散接合(焼結接合)部品としては最大級で、自動車用焼結部品全体から見ても、かなり重い部類に入る(図6)。

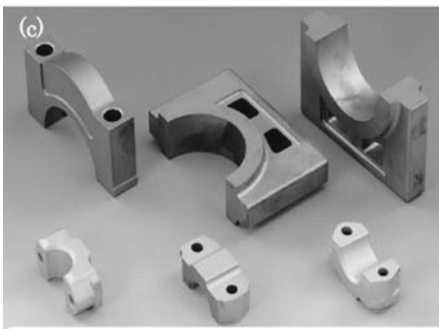
\* 芝浦工業大学教授; システム理工学部機械制御システム学科(〒337-8570 さいたま市見沼区深作307)  
Present Status of PM Automotive Parts; Akira Fujiki (Department of Machinery and Control Systems, College of System Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology, Saitama)  
Keywords: automotive, powder metallurgy, warm compaction, sinter joining, hybrid vehicles, soft magnet materials  
2014年6月17日受理[doi:10.2320/materia.53.608]



(a) プーリー



(b) スプロケット



(c) クランクシャフト、カムシャフトの  
ベアリングキャップ

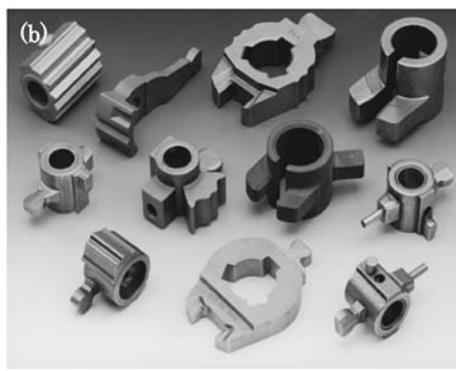


(d) オイルポンプ部品

図1 エンジン部品.



(a) シンクロハブ



(b) シフトフィンガー

図2 MT用部品.



(a) プラネタリーギアキャリア



(b) タービンハブ

図3 AT用部品.

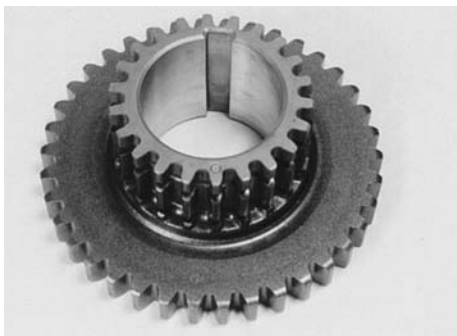


図4 温間成形+高温焼結によるスプロケット.



図7 焼結鍛造コネクティングロッド.

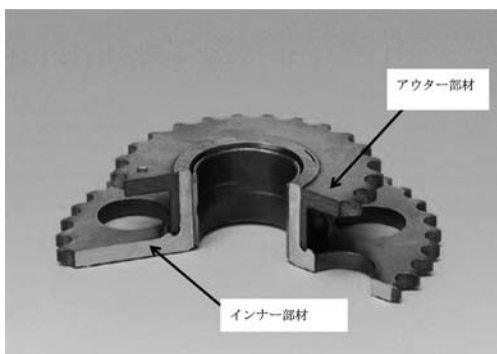


図5 焼結接合スプロケット.

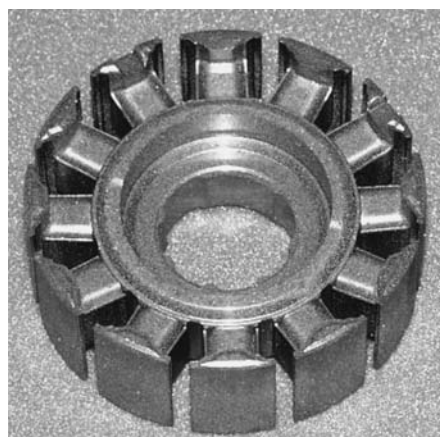


図8 圧粉磁心によるモーターコア.



図6 焼結接合のモーターローター.



図9 圧粉磁心によるリアクトルコア.

### (c) 焼結鍛造による部品

焼結鍛造とは焼結後に再加熱して鍛造し、多孔質の焼結材を緻密化するものであるが、ロータリー型の炉を用いて焼結の途中で取り出して鍛造する場合もあり、これは厳密には粉末鍛造と呼ばれるが、一般には両者を含めて焼結鍛造と称している。焼結鍛造は工程からして通常の鍛造より重量ばらつきが小さいので、国内ではトヨタがV型エンジンのコネクティングロッドに従来から使用しており、マツダもフォードとの共同開発エンジンを中心に使用していた経緯がある(図7)。



### (3) 特殊材料による製品例

特殊材の一つとしては、ステンレスの焼結材がABS(アン

チロックブレーキ)のタイヤの回転のセンサーローターとして1980年代の国内の自動車に採用され、1990年代には全車搭載に近くなり、かなり大量に採用されたが、2000年以降ABSの機構が変わったため、この部品は減少しつつある。しかし新興国の寒冷地向けでは、機構が簡単な従来タイプもまだ需要があると思われる。

また特殊材料の例として良く挙げられるのはバルブシート(バルブシートインサート)でバルブが着座するシリンダーヘッドに圧入されて使われる。この材料は鋳造等では作れない

複合組織を、粉末冶金では作れる利点を最大限利用したものであり、特に排気バルブシートは鉄ベースに、Cr, Mo, W, Co等のレアメタルを含む材料で鉄とレアメタルからなる硬質粒子とCaFのような固体潤滑材を両方含むような材料が使用されている。

電気・電子部品は冒頭で今回の解説から除くと書いたが、構造系と機能系の両面から考える必要のある部品でここにおいて記述すべきものとして、軟磁性圧粉部品が挙げられる。これは純鉄かFe-Si系の粉末の表面を無機化合物、あるいは有機化合物、場合によってはこれらの混合体でコーティングし、絶縁した鉄粉(絶縁鉄粉)を圧粉成形し、焼結はしないで成形体のままで絶縁鋼板の積層体の代わりに使うもので、形状が疑似3次元的でモーターのローターの芯材として使うと線積率(断面あたりの導線の比率)が向上したり、トランスコアやリアクトルのコアとして用いると高周波での渦電流損失が少ないといった特徴を持つ。モーターのコア<sup>(6)</sup>()とリアクトルコア<sup>(7)</sup>()の例をそれぞれ示す。

### 3. ま と め

以上、自動車用焼結部品について現状を書いてきたが、最後の方で述べた圧粉磁芯も増えてきている。このリアクトルコアは、ハイブリッド自動車のものであり、今後ハイブリッ

ド自動車(HV, HEV), 電気自動車(EV), 燃料電池自動車(FCV)が増えてくると、機能性に重点を置いた焼結部品(粉末冶金製品)が増えていくと思われる。

## 文 献

- (1) 若林章治, 渡辺尙尚: 新版粉末冶金, 技術書院, (1991), 2.
- (2) F. V. Lenel: Powder Metallurgy, J. Wulf, Ed., Cleaveland, (1942), 502-511.
- (3) 藤木 章, 前川幸広, 馬淵 豊, 渡部貴也, 菅谷好美, 岩切誠, 芝野 隆: 紛体および粉末冶金, **49**(2002), 438-443.
- (4) 藤木 章, (株)紛体粉末冶金協会編: 紛体粉末冶金便覧, (株)内田老鶴園, (2010), 244.
- (5) 小松敏奏, 浅香一夫: 紛体および粉末冶金, **50**(2003), 584-589.
- (6) (株)ファインシンター, アイシン精機(株): 紛体および粉末冶金, **51**(2004), 298.
- (7) トヨタ自動車(株), 大同特殊鋼(株), (株)豊田中央研究所: 紛体および粉末冶金, **57**(2010), 258.



藤木 章

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1983年 早稲田大学修士課程修了  
1997年 博士(工学)早稲田大学  
1983~2009年6月末日 日産自動車(株)  
2009年7月~ 現職  
専門分野: 粉末冶金, 環境材料, トライボロジー  
◎粉末冶金を中心に研究, 最近では圧電素子や色素増感太陽電池, 熱電素子等の機能性材料についても研究を行っている。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 自動車用 CFRP 技術の最新動向

影山 裕史\*

## 1. 自動車と環境

### (1) エコカーへの取り組み

地球温暖化や資源枯渇等の地球環境問題への取り組みは自動車も例外ではなく、エコカー開発など、各社、開発を強化している。トヨタ自動車においてもプリウスをはじめとしたHV車の販売台数が年々増加し、2013年末に累計が600万台を超えた。HV車以外にも電気自動車(EV)や燃料電池車(FC)、代替燃料などのエコカーの開発を並行して実施中である。

### (2) 軽量化によるCO<sub>2</sub>低減

エコカー開発において切っても切れないのが軽量化で、これによる低燃費化、それに伴うCO<sub>2</sub>削減努力により地球温暖化に貢献しようとする試みも増え続けている。軽量化として、高張力鋼板の開発・導入が積極的に進められている。また、非鉄や樹脂といった軽量素材が増えてきている。特に樹脂は車全体の1割程度まで増えてきた。樹脂化のほとんどは、内装材だが、それ以外にも、燃料タンクやエンジン吸気系のインテークマニホールドなど、耐腐食性や形状自由度といった樹脂ならではの特徴を活かした部品への展開も確実に増え続け、30%近い部品軽量化に繋がっている。今後は、金属、無機、有機材料のそれぞれの研究が更に進む一方、それらを複合化(ハイブリッド化)することにより、それぞれの特徴を活かす新たな位置づけの材料開発が進んでいくものと考えられる。表題のCFRP(carbon-fiber reinforced plastic)も、無機のCF(炭素繊維)でR(強化)したP(プラスチック)で、これまで航空宇宙やF1ボデー材料であったCFRPの自動車への量産展開が、期待されている(図1)。

## 2. 自動車とCFRPの現状

### (1) 世の中の動向

CFRPは、前述したように高性能繊維の炭素繊維により強化された樹脂系複合材料であり、高価格ではあるが、軽

### 材料の特徴を活かしたハイブリッド設計

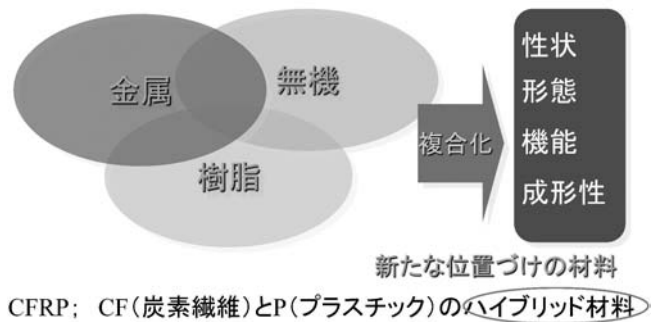


図1 今後の軽量材料。

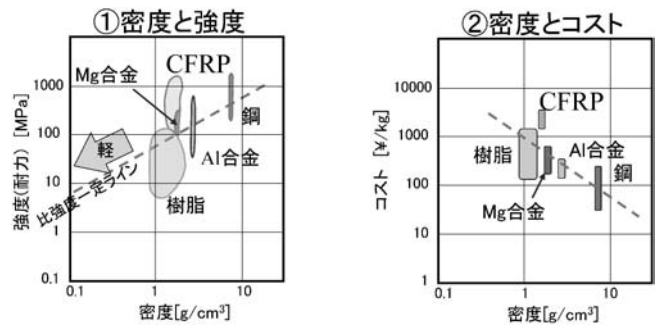


図2 CFRPの特徴。

い、強い、固い、寸法精度が良いなどの特徴(図2)から航空宇宙素材として揺ぎ無い位置づけを保っている。その技術が欧州を中心に自動車部品にも拡大されつつある。その中でもプロペラシャフトは少量ながらも古くから採用されてきた部品である。最近では、燃料電池車に搭載される水素タンクの素材としても採用が進んできている。また、スーパースポーツ車のボデーにもF1のCFRPモノコック技術が採用されてきている。CFRPに変えることでF1での事故死亡率が激減したという。また、スポーツ車の外板にも欧州を中心に採用が目立ってきている。更にエコカーでは、BMWがi3で

\* 金沢工業大学教授; 高信頼ものづくり専攻(元)トヨタ自動車(〒105-0002 東京都港区愛宕 1-3-4 愛宕東洋ビル12F)  
 Today's and Future's CFRP Materials for Automobile; Yuji Kageyama(Kanazawa Institute of Technology, Tokyo)  
 Keywords: CFRP(carbon-fiber reinforced plastic), eco-friendly car, recycle, cost, LCA(life cycle assessment)  
 2014年7月22日受理[doi:10.2320/materia.53.612]

CFRP ボデー車を昨年量産化した。今後の市場動向が注目される。また、CF メーカーと自動車メーカーのコラボも進んできている。東レとダイムラー(熱硬化CFRP)、帝人とGM、三菱レイヨンとBMW(CF原料のプリカーサの供給)、Aksa とDowなどで、今後のコラボの動向が注目される。

## (2) トヨタの現状

そうした中、トヨタのCFRPの使用は、残念ながらF1は中止になったが、モータースポーツでは古くから使用しており、今後も継続する予定である。一方、量産車への検討については、30年くらい前に国家プロジェクトに参画。近年、燃料電池車用の水素タンクの開発を行い、CFRP ボデーのレクサスLFA開発という形で再チャレンジすることになった(図3)。図中にLFAのメインボデーの65%を占めるCFRP部品とその材料・工法を示した。残りの部分は、アルミである。CFRPの部分は、要求性能に合わせて主として、プリプレグ、RTM (Resin Transfer Molding)、C-SMC (Carbon fiber-Sheet Molding Compound)の3種類の材料・工法で使い分けた。プリプレグは、航空宇宙産業やスポーツ産業で実績があり信頼性の高い材料で、予め樹脂を複合化したシート状の炭素繊維基材を何枚も重ね合わせるように型表面の形状に合わせて積層し、フィルムで覆い減圧することにより、型形状になじませオートクレーブ(圧力釜)などで加圧する工法で、ボデーのサイドメンバーやダッシュといったメイン骨格に採用した。RTMは、量産性を考慮し、革新工法として採用した工法で、予め型形状に沿うようにセットした繊維基材に液状の樹脂を浸み込ませて、加熱硬化した。プリプレグに比べ樹脂が複合化されていない繊維基材を用いるため柔軟性があり、型の形状に沿いやすいことから、大面積のフロアなどの部品を一体成形できるのが特徴である。C-SMCも革新工法として開発したもので、プリプレグやRTMが連続繊維を主体とするのに対し、1インチの長さの

炭素繊維をランダムに配向させ樹脂と複合化したコンパウンドをシート状にし、型にセットした後、高圧下で押しつぶし流動させ、加熱硬化させる工法である。そのため、複雑な形状が得られるのが特徴で、大型ピラーなどの複雑形状の2次骨格部材として採用した。CFRPの材料、工法の開発に切っても切れないのが接合で、特に接着剤の開発に時間を要した。最終的に3つの接着剤を採用した。一つ目は、ペースト状の高強度接着剤で、硬化部品同士を強く接着するのに用いた。2つ目は、未硬化および硬化CFRPの接着に用いたフィルム状である。3つ目は、今回、専用に開発した異種材接合用のシート状接着剤である。主要な接合部には、ねじ加工されたアルミインサートが必要で、これを包むようにCFRPを配置させ、高温で硬化させるため、冷やす過程で必ず、CFRPとアルミが剥がれるといった問題に直面した。そのため、線膨張差を吸収できる柔軟性のある、厚み1mmのシート状接着剤を開発することになった。ただし、このままでは、やわらかく、ぐらつきが発生するため、シート状接着剤に、剛直な径1mmのガラスビーズを分散させた(図4)。

以上のような開発を通して、スーパーカーの中でもねじり剛性が極めて高く、走行安定性に優れたCFRPボデーを開発

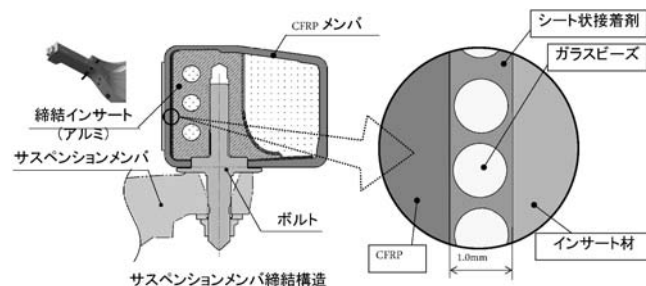


図4 シート状接着剤(異種材の接合)。

- 低重心化をねらい、水平外板には軽量なCFRPを採用
- 意匠自由度向上のため垂直外板には低密度SMCを採用

■ : RTM  
■ : G-SMC\* (微細中空ガラス球入り)

**外板パネル**  
\*(Glass fibre - Sheet Molding Compound)

● 3種類の接着法を開発

接着法	適用	特徴
1. 接着剤	硬化部品 同士の接着	●組み立て工程で使用 ●2液混合式 ●隙: 設計指示通り
2. フィルム接着	未硬化及び硬化 CFRPの接着	●成形工程で使用 ●隙: ほぼゼロで安定 (フィルム厚 0.2mm)
3. シート状接着材 (ガラスビーズ入り)	アルミインサートと未 硬化CFRPとの接着	●成形工程で使用 ●線膨張係数差を吸収 ●隙: 硬さ: ガラスビーズで確保

**接合技術 - 接着**

図3 レクサスLFA.

することができた。その技術を受け継ぎ、2013年6月にマークXのG's特別仕様車のルーフにクリア塗装CFRPを搭載した。今後も世の中のニーズとCFRPの特徴をよく理解しながら継続、拡大に向け、チャレンジしていく予定である。

### 3. 自動車とCFRPの今後

#### (1) 今後のCF生産量

エアバスA380、ボーイング787などの航空宇宙用途やスポーツ用途の更なる拡大が見込まれるが、自動車が含まれる産業用途での大幅な拡大が予想されている。しかし、歴史は浅く、自動車を構成する材料としてのポピュラーな位置を獲得するには、期待と課題を整理しながら、様々な角度からの検討が必要になってくる。

図5に、縦軸をいろいろな感動すなわち商品の狙いを、横軸に生産量を取り、トヨタ自動車の代表的な車両をプロットした。前述したLFAやレクサス系では、走りとかステータスなどの感動の造りこみと表現が重要。低重心化のみならず、CFRPならではの意匠性を活かしながら大量生産車へ展開を進めることが考えられる(図中A)。一方、エコカーの領域は、CFRPならではの軽量骨格で性能・燃費向上を押し進めることが考えられる(図中B)。

#### (2) CFRPの課題

図中AのCFRPならではの軽量意匠性の量産については、最近、HP-RTM(高圧-RTM)工法が出現し、ルーフなどの大物成形でも5分以内の型内占有時間が可能になってきている。しかしながら、カーボン繊維と樹脂の線膨張率差が極めて大きく、樹脂引けにより繊維パターンが表面に凹凸となって現れる。金属のような単独材には見られないような現象であり、平面化するのにコストがかかってしまうため、展開車両を選ばなくてはならず、現技術では全ての車両のニーズには対応できないという課題がある。型内表面コート等の技術開発が待たれる。図6に2013年6月に発売したマークXGsのCFRPルーフを示した。一方、図5のBのCFRPならではの軽量骨格構造の量産については、型内占有時間の大幅な短縮といった量産性のみならず、コスト、LCA、リ

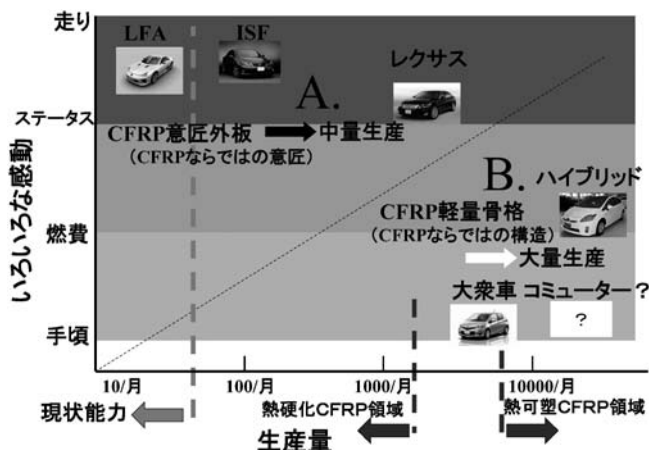


図5 CFRP開発の方向。

サイクル、信頼性の面でバランスのとれた材料・工法および設計が必要になる。残念ながら、現在これに対応できる技術はないが、これを打破しないと自動車でのCFRPのポピュラー化はありえない。

#### (3) 熱可塑CFRPの期待と課題

樹脂には大別して、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂がある。これまでのCFRPの樹脂はほとんどが熱硬化である。原料が粘度の低い液状の状態のものが多く、この状態で炭素繊維1本1本の表面を覆い、炭素繊維間を満たした後、三次元架橋反応により加熱硬化される。一方、熱可塑は、成形時の原料が固体のものが多く、金属のように加熱溶融させ炭素繊維と複合化し、冷やして固める工法をとる。熱硬化のように反応させないため、成形サイクルは短くできる。自動車の量産サイクルを考えた場合、熱可塑CFRP化による成形サイクル短縮の期待は大きい。ただし、前述したコスト、LCA、リサイクル、信頼性に対応するにはまだまだ課題は多い。その中でも特に、熱可塑性樹脂の特徴を考えると、熔融樹脂の粘度が高く、繊維との含浸性に大きな課題がありそうである。現在、熱可塑性樹脂の熔融状態を管理し、できるだけ扁平した炭素繊維束とし樹脂の流動距離を短くするような含浸方法が主流になってきているが、熱硬化性樹脂の低粘度液状状態での含浸に比べるとかなり難しいものになっている。その他、熱可塑性樹脂をフィルムや粉末状とし、予め繊維間に配置しておく方法も採られている。ただし、コストや生産性の面から自動車部品への展開を妨げるものとなっている。

LFAのCFRPボデーは、ほとんどが熱硬化CFRPであるが、唯一、熱可塑CFRPを採用した部品がある。サイドメンバーに内包される側突衝撃吸収用のコルゲート(波板)である。熱硬化CFRPと衝撃吸収特性を比較したところ、熱可塑CFRPは極めて高い衝撃吸収能を示すことが分かった。熱可塑CFRPは成形サイクル以外にも衝撃吸収といった面で期待できることを確認した。ただし、コスト、信頼性といった面で、まだまだ改良の余地があることも分かった。

そうした中、国内でも熱可塑CFRPの研究は盛んで、東大を中心に実用性の高い熱可塑CFRP中間材料(熱可塑シート)が開発されつつある。また、名大のNCC(National Composite Center)を中心に熱可塑CFRPの実用的な革新工法の研究(LFT-D: Long Fiber Thermoplastic Molding Process-



図6 CFRPルーフ。



Direct 等)も行われ、量産性や大型部品化に向け、産官学連携のもと、着々と準備が整えられている。これらの研究には大型設備等が必要であり、一企業だけでの推進は難しく、官の力が重要になっている。また、先行している航空機産業などの知見や、大学における解析や理論武装が信頼性を得る意味において極めて重要である。大学内に拠点を置いたのも、そういった理由があったものと考えられる。

#### (4) CFRP ならではの加工技術への期待

自動車用 CFRP 材料が進化すればするほど、CFRP ならではの設計や加工技術が重要になってくる。前述したが、CFRP と切っても切れないのが、接着剤や接合技術であり、レクサス LFA では、接着剤を多用している。組み立てライン 5 工程の 4 工程が接着ラインである。

接合技術、接着技術への期待は大きいですが、以下のいろいろな課題もある。

(1) 将来のポデー材料として、CFRP をあげたが、この CFRP も CF(炭素繊維)同士の接着によって成り立っている材料といえる。そのため、CF 表面の状態は極めて重要で、プライマー相当の表面処理剤が必要になる。これがサイジング剤と称されるもので、その処理は繊維メーカーに委ねられているのが一般的である。今後、CFRP が世の中に大量に出回った場合、リサイクルの必要性が出てくる。この場合、CF と樹脂の分離が求められることになるが、今の技術ではこのサイジング剤も分離時に消失あるいはダメージを得ることになる。リサイクル時に、リサイクルした CF にサイジング剤、およびその処理をどこで行うかが、重要なポイントになると考えられる。

(2) もう一つの課題は、CF あるいは CFRP の線膨張率が極めて小さいことにある。金属などの部品と接着する際に線膨張率差が生じ、高温成形時あるいは使用時に剥がれやすくなる。いわゆる異種材接合の問題である。前述したが、LFA 開発時でも大きな問題になった。線膨張差を吸収できるだけの伸びや強度が接着剤に要求されることになる。

(3) CFRP で更に注意しなければならないのは、金属などの異種材を接合する際に、水分などの介在下で電位差を生じてしまうことである。いわゆる電食という現象である。相手材と CFRP を遮断する設計が重要になる。

(4) もう一つは主要骨格に展開する場合の信頼性である。耐環境性や疲労限界の有無などを議論する必要がある。前述したが LFA では、機械締結を接着材と併用した。

今後は、顕在化しているこれらの課題に対し、一つずつ改善していく必要があるが、これと並行して、CFRP ならではの接合技術、接着剤の積極的な議論、開発が重要になってくると考えられる。例を以下に記述する。

(1) CFRP の特徴から今後、部品が大型化(一体成形)することが考えられる。前述したが、CFRP のマトリクス樹脂は接着剤でもあることから、比較的得意な開発になる。CF との接着力を増す方向と考えられる。問題は、C-SMC のように流す成形において、流れがぶつかるポイントで繊維が絡み合わずに、強度が出しにくいといった問題がある。これもマトリクス樹脂の接着性を増すことが重要になると考えられる。CF 界面強度と樹脂の靱性向上である。

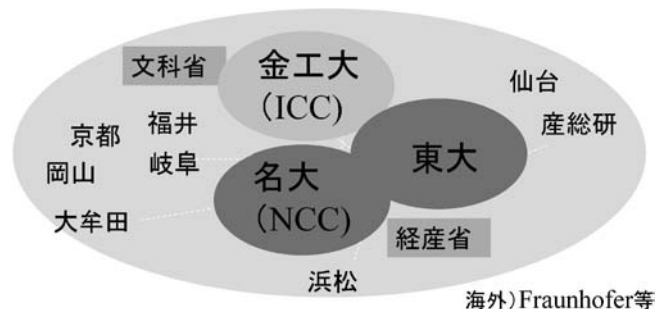


図 7 国内の CFRP 研究開発体制。

- (2) 前述したが、CFRP の挑戦として熱可塑性がある。この場合、溶着等の技術が開発できることになり、接合の自由度も増すことになると考えられる。ただし、流動がぶつかるようなポイントでは、熱硬化に対し高精度であり、絡み合いにくいといった課題が発生する。また、溶着は、被着体が接することが前提になることが多い。大型化すると CFRP の異方性も相重なって、容易に反ることが考えられる。反りの解析技術やハード面からの対策が必要である。
- (3) CFRP のマトリクスは樹脂であり、いろいろな物を混合するのは得意である。異種材を接合する際の対策など、複合化技術と接着技術の融合が重要になると考えられる。

## 4. ま と め

CFRP は将来の自動車用材料として期待されているが、自動車としては、まだまだ揺籃期といえる。また、接合技術や接着剤は、CFRP 部品には欠かせないものであり、CFRP の特徴や将来の方向を予測しながらの開発が期待されている。今後、産官学などによる基盤技術開発が重要になると考えられる。図 7 に国内の CFRP 研究拠点を示した。前述した経産省の東大、NCC(名大)のみならず、文科省の地域イノベーション活動により、地域の CFRP 研究も活発化してきている。2014年 6 月に金沢工業大学内に ICC (Innovative Composite Center)が開所した。国内の研究拠点、地域間の連携を中心に、海外と協力しながら前述した課題を克服していけば、近い将来に自動車の主要部位で熱可塑 CFRP 部品が出現するものと考えられる。これまでの熱硬化 CFRP 技術の定着、更なる進化に並行して熱可塑 CFRP の研究が進ことにより、また、これらの接合技術を開発することにより、自動車構成材料として CFRP の位置づけが確保でき、よりポピュラーな材料になっていくものと考えられる。



影山裕史

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
1981年 3月 東京工業大学有機材料工学科修士課程  
修了  
4月 トヨタ自動車(株)(当時トヨタ自動車工業  
(株)入社  
2014年 8月 現職  
専門分野：有機材料工学  
◎ものづくり強化の一環として、CFRP 材料の特徴  
を産学で理解しながらの新材料・工法の研究に従  
事。  
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 0.1秒で1000°C昇温できる 瞬間発熱素材の創製と応用

生津資大\*

## 1. はじめに

材料をナノサイズにするとバルクでは見られなかった新たな機能や現象を発現することが多くある。ナノ材料特有の現象は単に学術的に面白いだけでなく、新たな製品を創出するきっかけとなり得るため大変興味深い。著者らはこれまでスパッタリング成膜した軽金属と遷移金属のナノ多層膜が自己伝播発熱機能を示すことを見出し、その瞬間的な発熱特性を利用してシリコンウェハを0.1秒未満に瞬間ハンダ接合する技術を開発してきた。この技術を使うと限られた領域のみを極短時間で接合できるため、例えば熱に弱い電子デバイスやMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスの封止実装に有用と期待できる。

ここでは、まず、マイクロデバイスの封止実装のためのハンダ接合応用を目指して開発してきた Al/Ni 自己伝播発熱多層膜の成膜条件と発熱特性の関係を述べる。次に、これまで実施したハンダ接合応用研究の成果の一部と技術課題を紹介する。

## 2. 自己伝播発熱多層膜

軽金属と遷移金属をナノの厚みで積層堆積させた金属多層膜に外部から極微小エネルギーを与えると、2つの金属が化合物を作るのと同時に橙色の閃光を放しながら発熱する(図1)。局所的な化合物生成反応で生じた熱が次の反応を引き起こすエネルギーとして使われるため、この発熱反応は多層膜内を10 m/s程度で高速自己伝播する特長を持つ<sup>(1)</sup>。図2の示差走査熱量計測結果より、バイレイヤー厚20~100 nm、総膜厚20 μmのAl/Ni多層膜はいずれも発熱反応を示して



図1 自己伝播発熱多層膜と反応例。

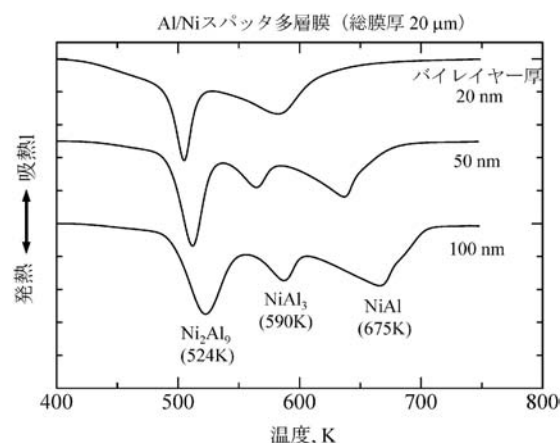


図2 Al/Ni スパッタ多層膜の示差走査熱量計測結果例。

\* 兵庫県立大学准教授；工学研究科(〒671-2201 姫路市書写2167)  
Fabrication and Application of Self-propagating Exothermic Materials Generating Heat of 1000°C within 0.1 sec; Takahiro Namazu (Department of Mechanical and Systems Engineering, University of Hyogo, Himeji)  
Keywords: self-propagating exothermic reaction, Al/Ni multilayer film, sputtering, packaging, solder bonding, MEMS  
2014年7月3日受理[doi:10.2320/materia.53.616]

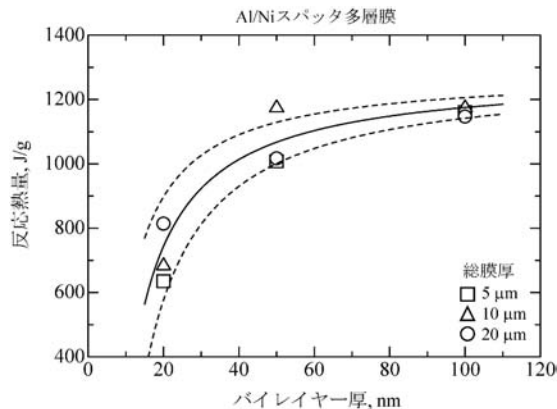


図3 Al/Ni スパッタ多層膜における単位質量あたりの反応熱量のバイレイヤー厚依存性.

いることがわかる。発熱ピークの位置と数はバイレイヤー厚で異なっていた。バイレイヤー厚 100 nm の Al/Ni 多層膜では 3 つの発熱ピークが見られ、温度が低い方から 524 K, 590 K, 675 K でそれぞれ  $\text{Ni}_2\text{Al}_9$ ,  $\text{NiAl}_3$ ,  $\text{NiAl}$  の金属間化合物が生成した。このグラフの横軸を時間に置き換え、発熱ピークの面積を算出すると単位質量当たりの反応熱量が得られる(図3)。反応熱量は 2 種の金属の組み合わせ、バイレイヤー厚、総膜厚等によって決定され、例えばスパッタ成膜したバイレイヤー 100 nm、総膜厚 40  $\mu\text{m}$  の Al/Ni 多層膜(原子比 1 : 1)の場合、約 1200 J/g の熱量を発する。バイレイヤーの縮小に伴って単位質量当たりの発熱量が減少する原因は、多層膜には Al 層と Ni 層の間にミキシング層と呼ばれる混合層の存在にある。ミキシング層の厚みは成膜装置と 2 種の金属の組み合わせによって概ね決まる。この層は発熱反応しないことから、バイレイヤー厚低下とともにミキシング層の割合が増えるため、図3のような傾向が得られる。また、Al/Ni 多層膜(原子比 1 : 1、バイレイヤー 100 nm、総膜厚 40  $\mu\text{m}$ )を短冊状のカプトンテープ上に成膜し、一端に電気刺激を与えて反応を誘起させ、他端への反応伝播時の温度を赤外線放射温度計で計測すると、0.1秒で1000°C近くまで瞬間発熱する。最高温度到達の1~2秒後には室温に戻るため、この発熱素材を用いると熱を与えたい箇所のみを瞬時に加熱できる。この発熱反応は酸化還元反応ではないために反応雰囲気を選ばず、真空中、不活性ガス中、水中でも大気中と同様に反応する。加えてアウトガスがないゼロエミッション材料でもある。

### 3. MEMS 封止実装応用の利点

著者らは上述のような極めて特異な特長を持つ発熱多層膜をハンダの熔融熱源として使い、MEMS デバイスの封止実装のための瞬間ハンダ接合法を開発してきた。近年の半導体加工技術やボトムアップ加工技術の飛躍的進歩の恩恵を受けて作られる MEMS は、機械的に動く“可動部”を持つことがエレクトロニクスデバイスとの違いである。これはエレク

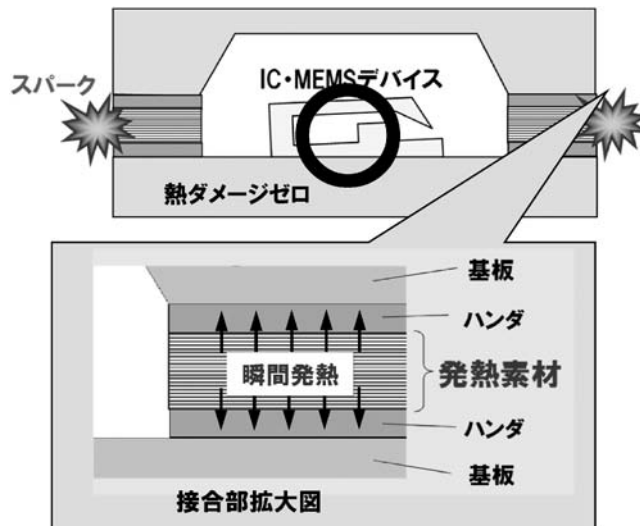


図4 瞬間ハンダ接合を用いた MEMS 封止パッケージの模式図.

トロニクスに一般的に用いられる樹脂封止等の実装技術そのまま適用できないことを意味し、MEMS デバイスをパッケージと呼ばれる“箱”の中に収納する必要性が生じる。パッケージは基板とキャップを何らかの方法で接合させたものが一般的であり、その中にデバイス収納用の空間を有している。接合法には幾つかの方法があるが、比較的低温プロセスであるハンダ接合が用いられることが多い。ハンダ接合を MEMS 封止パッケージに用いる場合、ハンダを熔融させるために、図4に示すようにデバイスを内部に収納した状態で全体をオープン加熱するか、ハンダ近傍にヒーター回路を設けてジュール熱で加熱する方法のいずれかが用いられる。どちらの方法でもデバイスをパッケージ内部に収納した状態で比較的長時間加熱することとなり、異種材料の積層構造を多く持つ MEMS に熱損傷が及ぶ可能性が高いことが懸念される。

このような課題に対し、自己伝播発熱多層膜を熱源としたハンダ接合では、ハンダのみを局部的かつ瞬時に加熱できるため、パッケージ内部に収納したデバイスに与える熱損傷を大幅に低減できる。加えてリフロー不要でアウトガスゼロの省エネ・低エミッションプロセスであり、実用化されれば環境面への好影響も期待できる。

### 4. 体積収縮とクラック

Al/Ni 多層膜を熱源としたハンダ接合 MEMS パッケージの作製を行うに際し、まず、2 枚の Si チップの瞬間ハンダ接合を行った。Sn-3.5Ag ハンダを成膜した 2 枚の Si チップの片方に Al/Ni 多層膜(原子比 1 : 1、バイレイヤー厚 100 nm、膜厚 30  $\mu\text{m}$ )を成膜し、重ねた状態で上方から加圧して真空中で電気刺激を Al/Ni 多層膜に与えた(図5)。その結果、Si チップを瞬時にハンダ接合することに成功した。

作製した接合チップを X 線透過観察した結果、図6のよ

うに反応開始点から放射状にクラック形成していた<sup>(2)</sup>。Al/Ni 多層膜に外部刺激を与えると、化合物生成反応により結晶構造が FCC から BCC に変化し、格子面間隔が約半分になる。これにより反応後の体積は反応前から約12%減少

し、この体積収縮がクラック発生の主要因と考えられる。Al/Ni 多層膜の厚みの微妙な変化や膜内の欠陥、組成ムラ等により、場所によって反応伝播速度が若干異なると考えられる。伝播速度が速い部分は体積収縮を伴いながら反応が優先的に進むため、結果として反応伝播が遅い部分にクラックができたものと推測できる。この考えに基づくと、複数点から同時に反応を誘起した場合、反応同士が衝突するところに大きなクラックが形成されると予想できる。自作のマルチプローブ反応誘起システムで複数点同時反応させた結果、図7のようにほぼ予想通りの箇所にクラックを導入することができた<sup>(2)</sup>。また、マイクロデバイス用封止パッケージを視野に入れ、キャビティを持つ Si チップに対して複数点同時反応を起こした結果、キャビティを持つチップでも同様に反応が衝突するところに大きなクラックができた<sup>(3)</sup>。これは反応開始位置と数を変えることでクラックの位置と向きを制御できる可能性があることを示唆しており、仮にダイシングライン上にもみ上手くクラックを導入できれば、ダイシング後のチップ接合部はクラックフリー化するものと期待できる。なお、クラックが生成されても瞬間的に溶融したハンダがその中に流れ込むため、接合部にはクラックに基づく空間が存在しないことを確認している。

しかし、半導体デバイスの接合では、クラックの存在自体が敬遠される。著者らは発熱反応後の NiAl 化合物内部のクラックフリー化を目指し、Al/Ni 多層膜の線幅、厚み、ハンダ膜厚を変化させて接合実験を行い、クラックの様子を観察

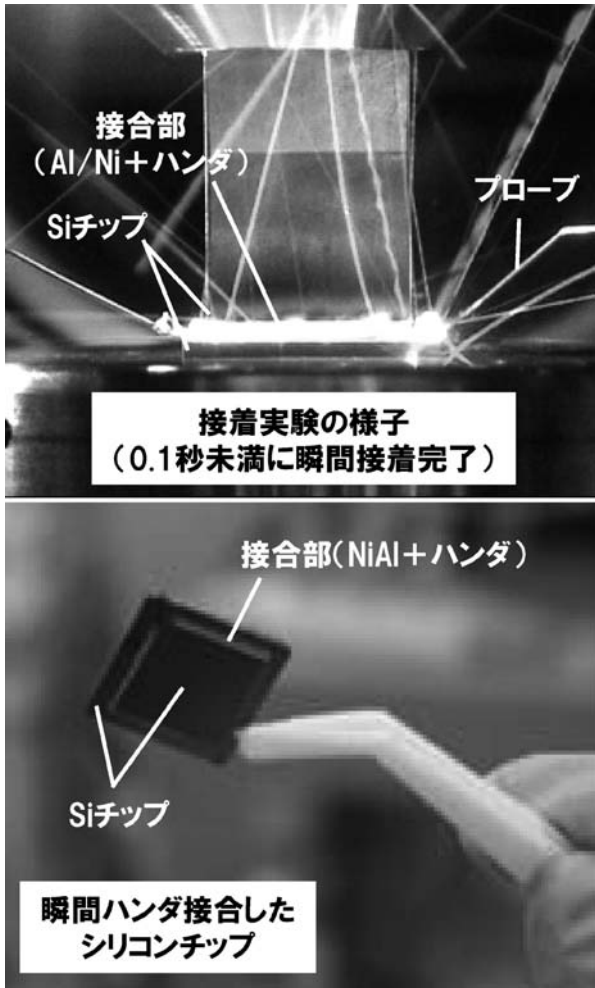


図5 自己伝播発熱多層膜を用いた瞬間ハンダ接合の様子。

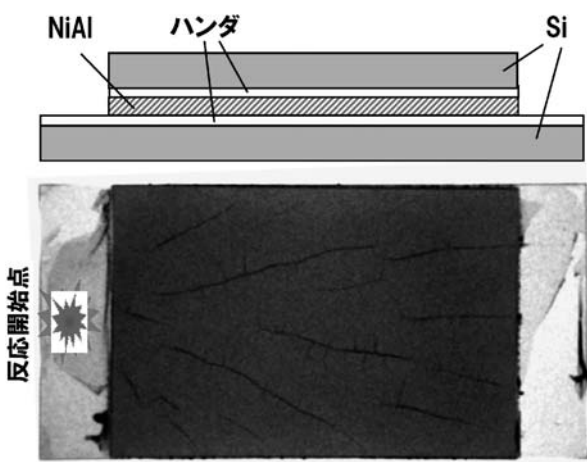
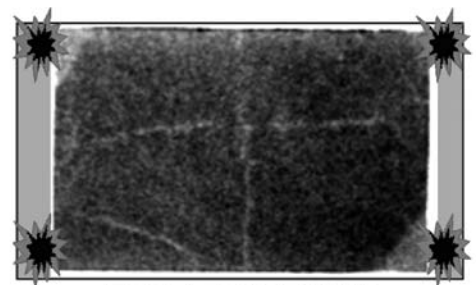
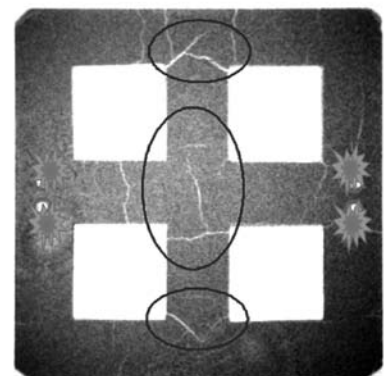


図6 ハンダ接合した Si チップの透過観察写真例。

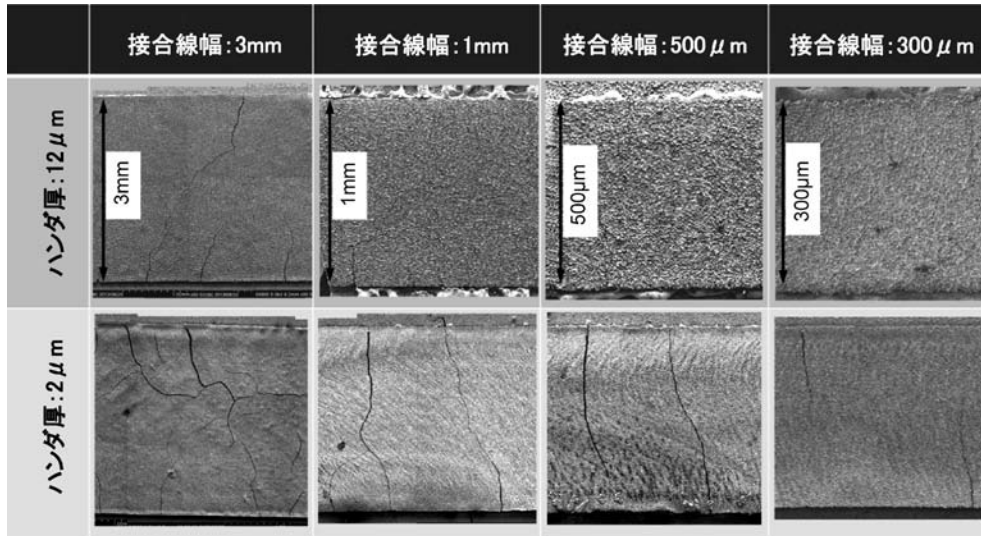


四隅から同時に反応誘起  
→“十字”クラック生成



キャビティをもつウェハでパッケージ想定  
→反応が衝突したところにクラック生成

図7 クラック導入実験の一例。



※写真はいずれも上部ハンダ層剥離後のNiAl表面

図8 Al/Ni 上下のハンダ層の厚みと線幅を変えて接合した個所のクラック観察例.

した. Al/Ni 多層膜の膜厚はクラック形成と無関係であったが, 図8に例示するように, 接合部線幅が細く, かつ, ハンダが厚いほど導入されたクラックの数は少ない傾向にあることがわかった. この理由は, 線幅が細いほど約12%の体積収縮で生じる変形量が小さくなり, ハンダが厚いほどその変形量をハンダ層が吸収しやすくなるために反応時のAl/Niの変形が容易になったためである. しかし, 結果は省略するが, ハンダ厚が8  $\mu$ m以上ではAl/Ni層が体積収縮する際に面内方向だけでなく面外方向にも変形が容易になるため, 接合後のNiAl化合物層は面外方向に周期的に湾曲していた. 加えてNiAl内部には反応時の変形のし易さによってもたらされたと思われるポイドが多数確認された. ハンダ層が厚くなるとクラックは抑制されるがNiAlの変形とポイドが見られるようになり, これらは接合部の機械信頼性を低下させることから避けなければならない. クラックやポイドがでず, NiAlが変形しない最適条件を見出すことが重要である.

## 5. 接合強度

ハンダ接合を封止構造に使う場合, 機械的強度と封止性の確保は重要である. 著者らは瞬間ハンダ接合したSiチップの接合部をダイシングカットして中央に接合箇所を含む棒状の試験片を準備し, 様々な条件で四点曲げ試験を行って破壊起点の特定と最適接合条件を調べた. 結果, Al/Ni多層膜が分厚く, ハンダとSiの間にNi/Crの下地膜を挟むと強度が上昇する傾向にあった<sup>(4)(5)</sup>. このサンプルはハンダ内部の溶融部と未溶融部の界面が破壊起点であった一方, 下地膜がNiのみのサンプルはハンダとSiとの境界で破壊した. いずれのサンプルもNiAl化合物で壊れたものではなく(図9), 反応後のNiAl化合物は機械強度に優れることを確認した.

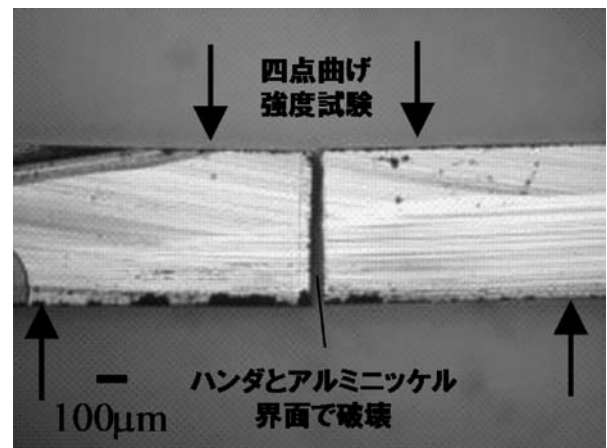


図9 四点曲げ試験後の接合体の一例.

## 6. ウェハレベルパッケージ

MEMS封止パッケージに適用することを想定し, デバイス収納部を想定したキャビティを複数含む2インチSiウェハの瞬間ハンダ接合を真空中で試みた. 図10に接合前後のウェハ表面の写真を示す. この写真は格子状の光をウェハ表面に照射して撮影したものである. 図より, 接合前のウェハ表面の格子状反射像は直線であり, ウェハ表面が平滑であることを示している. 一方, 接合後のウェハ表面の反射像は曲線であり, 表面に凹凸があることを示唆している. つまり, 減圧下で接合した封止パッケージを大気中で評価したため, キャビティ内外の圧力差でメンブレンにたわみが生じたことを示している. これはキャビティ個々の封止が実現できていることを表しており, 近い将来, 著者らが提案するMEMS用封止構造体作製技術の実用化が実現可能と期待できる.

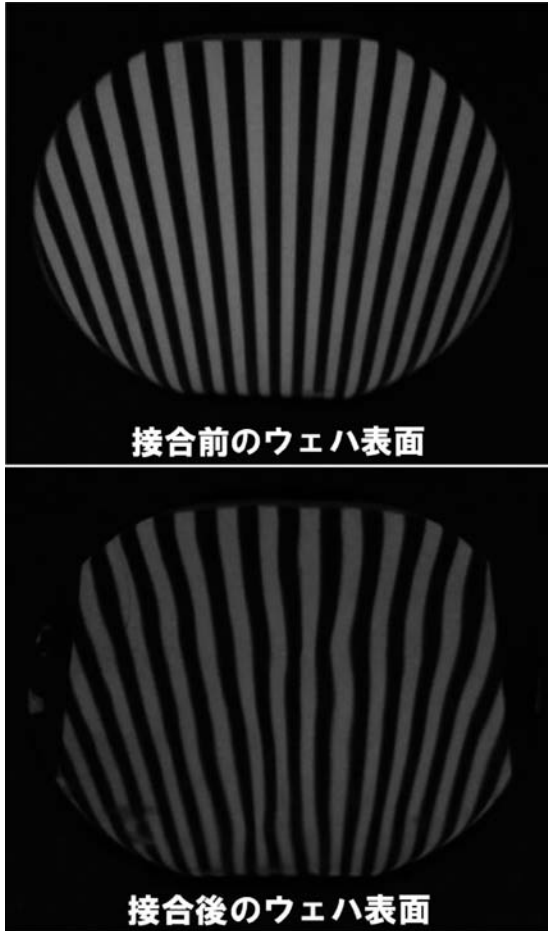


図10 複数のダイヤフラム構造を含む 2 インチ Si ウェハの瞬間ハンダ接合結果例.

## 7. ま と め

スパッタ成膜した Al/Ni 発熱多層膜を用いてハンダを局所的かつ瞬時に熔融させ, Si ウェハをハンダ接合する技術を構築した. 接合部のクラックフリー化を実現するとともに接合強度ならびに封止性能が十分実用に耐えうることを実験的に確認した. 近い将来, 微小可動部を持つ MEMS デバイスの封止パッケージのためのハンダ接合法として実用化され, 世界規模で省エネ・低エミッション化が進むことを期待する.

## 文 献

- (1) T. Namazu, H. Takemoto, H. Fujita, Y. Nagai and S. Inoue: Proceedings of IEEE MEMS 2006, Istanbul, (2006), 286-289.
- (2) T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki and S. Inoue: Materials Science Forum, **706-709** (2011), 1979-1983.
- (3) T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki and S. Inoue: Proceedings of Transducers 2011, Beijing, (2011), 1368-1371.
- (4) K. Ohtani, Y. Yamano, T. Namazu and S. Inoue: Proceedings of Transducers 2009, Denver, (2009), 172-175.
- (5) T. Namazu and S. Inoue: Materials Science Forum, **638-642** (2010), 2142-2147.



生津資大

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 2002年 立命館大学大学院理工学研究科博士後期課程  
 総合理工学専攻 修士 博士(工学)  
 2002年~2006年 兵庫県立大学大学院工学研究科機械  
 系工学専攻機械知能工学部門 助手  
 2007年~現在 同上 准教授(現職)  
 2010年~2013年 JST さきがけ研究者(兼任)  
 2013年~現在 京都大学学際融合教育研究推進セン  
 ター講師(兼任)  
 専門分野: ナノメカニクス, ナノ実験力学, 機能性材  
 料  
 ◎MEMS 技術を駆使したナノ材料の力学物性計測や  
 薄膜材料の機械物性評価のための独自実験技術を  
 開発している. 最近では自己伝播発熱多層膜に関  
 連する基礎材料研究と応用研究を進め, 発熱機能  
 を微粒子に付与する技術開発を行っている.  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 材料の組織形成とその理論—第5回—

## ～析出線近傍での核生成～

宮 崎 亨\*

### 8. 析出線極近傍の核生成と問題点

#### 8.1 ま え が き

今まで、組織形成に関連する様々な現象をとりあげてきた。しかしながら、なお研究がほとんど進展していない分野がある。それは純金属に近い希薄合金の析出挙動、合金・材料の析出線や相境界線の極近傍での組織変化、相境界での組織の移り変わりに関する詳細な研究が実験・理論共にほとんど行われていないことである。このことは、単に実験がなされていない、と言うだけではなく、以下のような大切な事を見過ごしている可能性がある。

相変態は、内的、外的条件等により、系に含まれる各相の自由エネルギーのどれかが優勢になり、さまざまな相の出現を促すものであるが、相境界線近傍では、各相の自由エネルギーの優劣がほとんどない。そのため、現象が複雑になり、予想外のことが生じる可能性がある。従来、複雑な現象内の典型的な現象に研究者が注目を払い、それを線形化して理解することは広く行われてきた。しかしながら、相変態、特に相境界近傍での現象は非線形部分を多く含んでいる可能性があるため、線形理論に基づいた従来の処理は、しばしば不十分な結果を与える可能性が考えられる。今まで、あまり研究されて来なかった相変態の臨界現象を理解するためにも、相境界近傍での現象の移り変わりに視点を当てた実験的、理論的取り扱いが必要である。

最近、相変態の新しい解析法として、巨視的組成勾配法 (Macroscopic Composition Gradient Method, MCG 法)<sup>(1)</sup> が提案された。これは、合金中へ導入されたマクロな組成勾配の利用により、組成の異なる合金の構造変化を、組成変化を

軸にして、分析電子顕微鏡を用いて連続的に観察する新しい実験方法である。この方法では、通常、相変態の境界線を跨ぐように、マクロな組成傾斜を導入することもできるので、相境界での構造・組織変化を、組成を緩やかに連続的に変化させながら、調査することができる。つまり、合金中のマクロな濃度分布を変化させることなくミクロな局所的な原子拡散を生じさせ、核形成などの相変態を生じさせる方法である。この方法により、ミクロな相変態の様子を組成に対して連続的に観察することができ、組成軸に沿った実験を行うことが可能となる。このMCG法を用いて驚くほど多くの未知の実験結果が得られている。その詳細は文献(1)(2)を参照されたい。ここでは、そのうちの析出核臨界サイズの合金組成依存性および核生成時間についての実験結果を示す。この手法を用いることにより、初めて得られた成果である。

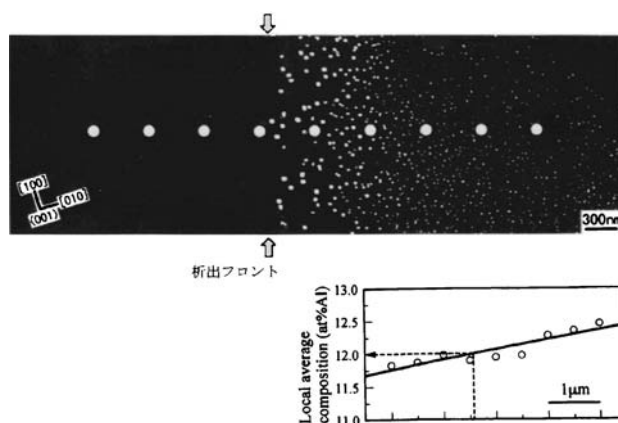


図8.1 Ni-Al 組成傾斜合金 (973 K, 10.8 ks 時効) の電子顕微鏡100暗視野像。

\* 名古屋工業大学名誉教授 (〒470-8555 名古屋市昭和区御器所町)  
 The Formation of Microstructure in Materials and Its Theoretical Basis (V) ~Nucleation Very Close to the Precipitation Line~; Toru Miyazaki (Emeritus Professor, Nagoya Institute of Technology, Nagoya)  
 Keywords: macroscopic composition gradient method, nucleation near the precipitation line, theoretical difficulty in nucleation very close to the solubility line, Gibbs-Thomson's relation  
 2014年3月27日受理 [doi:10.2320/materia.53.621]

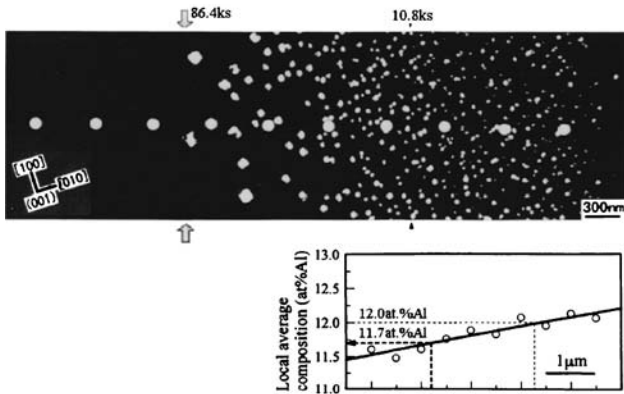


図8.2 Ni-Al 組成傾斜合金 (973 K, 86.4 ks 時効) の電顕 100暗視野像.

## 8.2 組成傾斜合金の組織

図8.1は、Ni-Al 組成傾斜合金を、973 K で 10.8 ks 時効した時の内部微細組織で、透過電顕の100暗視野像である。白く光っている粒子が  $\gamma'$  ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) 析出粒子である。写真中の灰色の丸印は EDS 組成分析の点で、その位置における局所平均組成は図8.1の挿入図に示されている。挿入図内の実線は、測定データに基き誤差関数の最小二乗法を用いて決定した濃度曲線である。Al 濃度は図の右から左にかけて数  $\mu\text{m}$  に渡って連続的に減少している。高 Al 濃度側では細かな整合  $\gamma'$  粒子が多数存在するが、濃度の低下に伴い粒子数は減少し、ついには粒子は見られなくなる。つまり、写真上下の2個の矢印を結ぶ直線が 973 K, 10.8 ks 時効における整合析出限界濃度“析出フロント”であり、この組成は挿入図から 12.0 at%Al と求められる。さらに時効すると、析出フロントは Al 低濃度側へ移動する。図8.2は、86.4 ks 時効した試料の内部組織で、析出フロントは 11.7 at%Al である。10.8 ks 時効における析出フロント位置の組成 (12.0 at%Al) は、この図では写真上下の小さな矢印位置に対応する。これより、析出フロントが時効の進行に伴い低 Al 濃度側へ移動していることは明らかである。したがって、図8.2の大矢印 (86.4 ks) と小矢印 (10.8 ks) の間に観察される析出粒子は 10.8 ks 以降の時効によって出現した粒子である。なお、析出フロントの移動は試料全体のマクロ的な組成傾斜自体の移動によるものでなく、析出核生成のための潜伏期 (Incubation period) の組成依存性 (濃度の低い合金ほど析出のための化学的駆動力が少ない) に起因するものである。

ここで注目しておかなければならないのは、析出フロントの粒子が最も大きく、周辺にこれより小さい粒子が見られないことである。したがって、フロントにある大きな粒子は、小さな粒子が最初形成されそれが成長したものではありません。つまり、析出線の極く近傍では巨大な核が最初から形成されるということである<sup>(1)</sup>。

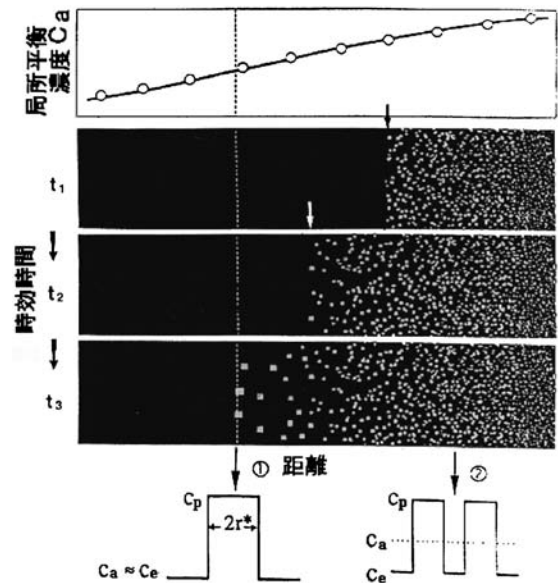


図8.3 組成傾斜合金の組織から析出核の平衡溶質濃度  $C_e$  を求める方法.

## 8.3 析出線近傍における核安定性の評価

析出粒子の安定性は、粒子の周囲の溶質濃度  $C_a$  と粒子界面における平衡溶質濃度  $C_e$  の関係によって決まる事はよく知られており、析出核生成や粒子の安定性を考える上で、基本となる重要な数値である。図8.1および図8.2に示した組織から、 $C_a$  および  $C_e$  を各粒子について実験的に直接求める事ができる。この手法を図8.3を用いて説明する。図は上段よりそれぞれ、組成傾斜領域の局所濃度  $C_a$ 、組成傾斜試料内の相分解組織の模式図および析出フロント組成①とそれより高組成域②における析出粒子の濃度プロファイルの模式図である。析出粒子の体積分率  $f$  は次式で与えられる。

$$f = (C_a - C_e) / (C_p - C_e) \quad (8.1)$$

$C_p$  は析出相の溶質濃度、 $C_e$  は界面における平衡溶質濃度である。ここで、時効時間  $t_3$  の組織について考えよう。高濃度域で析出粒子が多数析出している場合には、プロファイル②のように、局所平均組成  $C_a$  と析出粒子界面における平衡溶質濃度  $C_e$  は異なっている。しかしながら、析出フロントでは、析出粒子の体積分率  $f \approx 0$  であり、式(8.1)から  $C_a \approx C_e$  となる。 $C_a$  は図8.3の最上図に示す様に、実験的に測定することができ、また析出フロントにおける粒子サイズ  $r$  も写真から測定可能なので、析出フロントの粒子にのみ着目すれば、粒子サイズ  $r$  と  $C_e$  ( $\approx C_a$ ) の関係を導くことができる。時効時間を変えることによりフロント粒子のサイズを変えて、この操作を繰り返せば一連の粒子核サイズについてこの関係を求めることができる。

以上の考えに基づき、Ni-Si 合金における臨界析出核サイズの組成依存性を実験的に測定した結果が図8.4である。縦軸は臨界サイズ  $r$  で、横軸は析出フロント位置における Si 濃度である。図中の多くの黒丸は、個々の時効時間における



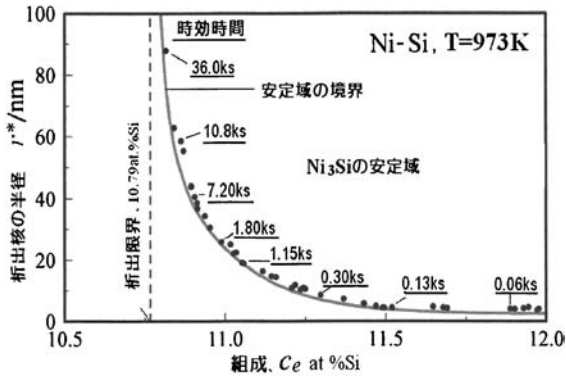


図8.4 析出核サイズ、核界面の平衡溶質濃度および核の生成時間の関係。

表8.1 Cu-Ti 合金中の  $\text{Cu}_4\text{Ti}$  析出核サイズ  $r^*$ (nm) および核生成時間  $t$ (sec) の溶質過飽和度  $\Delta c_e (=c_e - 2.12 \text{ at}\%)$  の影響。(時効温度  $T=873 \text{ K}$ )。

$\Delta c_e$ (at%Ti)	$r^*$ (nm)	$t$ (sec)
0.755	3.00	3
0.615	4.55	5
0.501	4.70	10
0.205	5.01	15
0.125	7.50	20
0.065	15.3	30
0.050	26.0	60

析出フロントに位置する粒子の半径である。実線は測定点の下限を結んだ線で、これが最小の析出核サイズと合金組成の関係を示したものである。この曲線より上側は析出粒子が熱力学的に安定に存在できる領域であり、この曲線より下側は粒子の不安定領域である。図8.4の黒丸印の粒子は、小さい粒子が最初形成されその後成長粗大化したものではなく、或る時効時間後に突如核生成する<sup>(1)</sup>。驚くべきことに、半径 100 nm に近いサイズの大きな析出核が溶解度線の極く近い組成でいきなり出現することが多くの合金で実験的に捉えられている。表8.1は Cu-Ti 合金における溶質過飽和度、 $\text{Cu}_4\text{Ti}$  粒子の臨界核サイズおよび核の形成時間を示している。図8.4と同様な結果を示している。

図8.5は Cu-Co 通常合金および Cu-Co MCG 合金についての過飽和度  $\Delta c$  と Co 核サイズ  $r^*$  との関係<sup>(3)</sup>を示している。通常合金についてはハーゼンとワグナー (Haarsen & Wagner)<sup>(4)(5)</sup>によって苦心の結果、実験的に求められた核サイズであるが、その最低濃度の限度は  $\Delta c=0.3\% \text{Co}$  であった。この原因は、通常の合金では各試料の濃度を正確に決定できないからである。つまり、幾つかの低濃度合金を個別に作成しても、各試料を0.01%程度の精度で濃度決定ができないからである。それに対して、黒丸の MCG 合金では連続

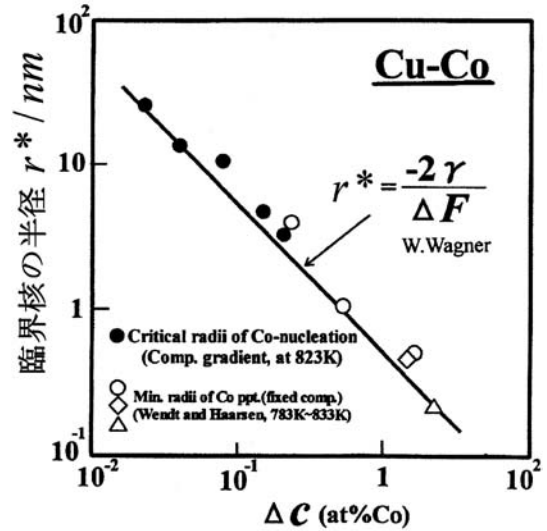


図8.5 Cu-Co 合金における過飽和度  $\Delta c$  と Co 核サイズ  $r^*$  の関係。

的な滑らかな濃度変動を利用しているため、各場所の濃度を遙かに正確に決定できる。そのため、図中の黒丸は 0.01 at% 付近まで測定されている。図中の実線は式(8.2)によって理論的に引かれた  $\Delta c$  と  $r^*$  の両対数プロットで、極低濃度まで式(8.2)が成立していることが明らかである。

$$r^* = -2\gamma / \Delta F \quad (8.2)$$

これは、組成傾斜時効法という新しい解析手法の開発によって、初めて可能になったもので、核生成研究やその他の臨界現象を理解する上に、新しい道を開くものであろう。

#### 8.4 析出線近くの巨大核の形成と問題点

図8.4や表8.1に示したように、析出線の極く近傍では半径 50 nm に及ぶ巨大な核が形成される。この巨大核は、図8.5に示すように、熱力学的に与えられる低濃度域における核サイズに一致している。しかし、このような巨大核がどのようにして形成されるのかについては、説明が困難である。仮に、半径 50 nm の核を形成するためのエネルギー障壁は、どのような核生成理論(第1回2章参照)でも、 $10^8 \text{ KJ/mol}$  程度であり、通常の核生成の活性化エネルギー約  $10^2 \text{ KJ/mol}$  に比較して極端に大きい。核生成は熱揺動によって形成されると考えられているが、このような大きなエネルギー障壁を熱揺動で越す確率は 0 である。核形成のためのエネルギー障壁の大きさは、核を構成する原子数に比例する(2章の式(2.2)参照)ので、数 nm 以下の小さな核なら熱揺動によって生成できるかもしれないが、 $10^6$ 個以上の原子からなる半径 50 nm もの巨大核を熱揺らぎでエネルギー障壁を越して安定化することなど不可能である。現行のギブス-ボルツマン (Gibbs-Boltzmann) の自由エネルギー式を用いる限り、スピノーダル組成より外側の組成では核生成に対するエネルギー障壁が存在するので、核生成時にこの障壁を避けることはできない。したがって、ギブス-ボルツマンの自由エネルギー式を用いる限り、いかなる核生成モデルを用いても、巨大核

の生成を説明することはできない. 非線形拡散方程式を解くフェーズフィールド法においても, スピノーダル組成の少し低濃度側(N-G領域)の計算では初期揺らぎの導入によって可能であるが, さらに低濃度合金の計算は困難で, まして実験的に検証されている過飽和度が0.1%以下の合金での巨大核の生成シミュレーションなど全く不可能である.

このN-G領域のエネルギー障壁は, 自由エネルギー濃度曲線が溶解度間隙(miscibility gap)の端で急勾配で下に凸になっていることに起因して発生する. つまり, 自由エネルギーのエントロピー項に起因して発生している. ボルツマンのエントロピーの濃度勾配( $\partial G/\partial c$ )は端の組成で $-\infty$ であるから, 相分離型固溶体の自由エネルギー曲線は端の組成で必ず下に凸な曲線になる. このため, エンタルピー曲線との連結部付近に変曲点が必ず存在する事になる. これが状態図にN-G領域を作っている原因である.

現行のギブス-ボルツマンのエントロピーは, 小領域の短範囲相互作用が系のどの場所でも成立することを認めるもので, 系の中では温度が変化しない限り, 何時でも何処でも均一不変である. つまり, エントロピーは“加法的(extensive)”で, 不均一な揺らぎは考えられていない. このことが前述の困難の原因であろうと考えられる. もともと, ギブス-ボルツマンの自由エネルギー式は極く低濃度域では適用できず, この領域は“unknown”領域と呼ばれ, その原因がエントロピーの加法性にあるとされてきた<sup>(6)</sup>. しかしながら, 最近, Tsallis<sup>(7)(8)</sup>によって, 長範囲相互作用を考慮したエントロピーが提案された. その結果, エントロピーは非加法(nonextensive)となることが示され, その結果, 考慮する領域の大きさによってエントロピーが異なることが示された. それ故, エントロピーは空間的不均一性を有し, 且つ, 低濃度固溶体ほどこの傾向が顕著になることが示された. このことは, 溶解度線に近い低濃度合金においては, エントロピー項の寄与が少なくなり, 自由エネルギーのエンタルピー項がより支配的になることを示している. この場合は自由エネルギー曲線は, エンタルピー支配となり, 上に凸な2次曲線に近づき, エネルギー障壁が小さくなる可能性がある. すなわち, 前述のN-G領域の難問を解決する可能性があるように思われる.

しかしながら, Tsallisのエントロピー式には原子集団の大きさに関する変数 $q$ が導入されている. エントロピーのみ

の評価ではこれでも良いが, 熱力学の平衡関係には大問題が生じる. 変数が1つ多いため, 例えば, Gibbs-Duhemの関係が成立しない. したがって, 現時点では熱力学における平衡関係が成り立たず, 状態図も示す事が出来ない. 勿論, 熱力学に基盤をおいた拡散方程式も成立しない.

Tsallisの理論は, 現在, 盛んに議論が行われており, Boltzmann-Gibbsの統計熱力学との整合性が検討されている<sup>(7)(9)</sup>. 将来, 道が開かれる可能性がある.

我々が日頃何気なく用いている統計熱力学にも及ばない領域が身近に有ることを認識しておかなければならない. 特に, 若い学生諸君に関心を持って欲しいと思います. (完)

## 文 献

- (1) T. Miyazaki: Progress Mater. Sci., **57**(2012), 1010-1060.
- (2) T. Miyazaki and S. Kobayashi: Philos. Mag., **90**(2010), 305-316.
- (3) H. I. Aaronson and F. K. LeGoues: Metall. Trans. A, **23**(1992), 1915-1945.
- (4) P. Haasen and R. Wagner: Metall. Trans. A, **23**(1992), 1901-1914.
- (5) C. Wagner: Z. Electrochem., **65**(1961), 581.
- (6) J. W. Cahn: private communication.
- (7) C. Tsallis: J. Stat. Phys., **52**(1988), 479.
- (8) C. Tsallis: Nonextensive statistical mechanics and thermodynamics: historical background and present status, Nonextensive statistical mechanics and its application, ed. S. Abe and Y. Okamoto, Springer, (2000).
- (9) 例えば E. M. F. Curado and C. Tsallis: J. Phys. A, **24**(1991), L69-L72.

## 参 考 書

- (1) C. Tsallis: Nonextensive statistical mechanics and thermodynamics: historical background and present status, Nonextensive statistical mechanics and its application, ed. S. Abe and Y. Okamoto, Springer, (2000).



宮崎 亨

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1960年名古屋工業大学卒業  
 1965年東北大学大学院工学研究科博士課程修了  
 東北大学金属材料研究所助手, 名古屋工業大学助教, 教授, 副学長を経て名誉教授  
 専門分野: 相変態論, 材料強度学  
 ◎スピノーダル分解, 組織自由エネルギー論, 組織分岐理論, 組織シミュレーション, 組成傾斜時効法などの開発.  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# ダイカスト金型専用溶接補修材 DHW

清水 崇行<sup>1)</sup> 梅森 直樹<sup>2)</sup> 増田 哲也<sup>\*\*</sup> 堀尾 浩次<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

自動車のエンジンケースやミッションケースなどのアルミ鋳造品の大量生産には、ダイカスト法が用いられる。この方法は、溶解したアルミ合金を金型の隙間に流し込み凝固させて製造する。製品の計画生産数があらかじめ決められているため、これに使われるダイカスト金型は、この計画数まで継続して使用されることが多い。しかし、この計画数に至るまでに、割れ(ヒートチェック)や折損が発生するため、定期的、あるいは、突発的に生産を中止して、金型を何度も繰り返しメンテナンス=補修しながら使用しているのが現状である。

ダイカスト金型の補修は、18%Ni マルエージング鋼(主成分18.5%Ni-4.8%Mo-9%Co)を肉盛溶接棒に用いてティグ(Tungsten inert gas)溶接され、生産停止時間を短縮するため溶接まま(後熱なし)で使用しているのが一般的である。18%Ni マルエージング鋼は溶接ままでは30~40 HRCと硬さが低く、数少ないティグ溶接棒の中では溶接割れしにくいと考えられる。しかし、ダイカスト金型の一般的な硬さ43~48 HRCと比較すると低いため、熱応力疲労であるヒートチェックが溶接部に早期に発生し、すぐに補修を繰り返さなければならないという問題がある。また、2012年10月に改正された特定化学物質障害予防規則など<sup>(1)(2)</sup>で、コバルト1%以上を含有する鋼材(18%Ni マルエージング鋼も含まれる)を切削や溶接に用いる場合は、粉じん対策などが必要となり、取扱い上制約をうける。そこで、ダイカスト金型用の肉盛溶接棒として、既存鋼よりもヒートチェックの発生が抑制され、コバルトを含まない溶接材料の開発が望まれていた。

## 2. ヒートチェックに影響する硬さと熱伝導率

大同特殊鋼では、ダイカスト金型に発生するヒートチェックに影響する材料特性について、実際のダイカスト金型で調

査を行ってきた。図1にJIS SKD61で作製し、焼入れ焼戻しにより室温硬さを38, 43, 48 HRCに調整したダイカスト金型と、室温から774 Kまでの平均熱伝導率がSKD61よりも高い、29, 31 W/(m·K)の鋼種で作製したダイカスト金型を用いて、10000ショット鋳造を行った後の金型外観写真<sup>(3)</sup>を示す。硬さと熱伝導率の向上に伴い、図中矢印部などのヒートチェックが顕著に抑制されていることがわかる。ヒートチェック発生ショット数は、 $(\sigma_B / (E \times \alpha \times \Delta T))^8$ で整理できると報告<sup>(4)</sup>されており、同様の考え方で $\Delta P_s / \sigma_y$ によって整理した結果<sup>(3)</sup>を図2に示す。アルミ流速の影響も受けているが、材料強度 $\sigma_y$ (鋳造中の最高温度での0.2%耐力)に対して、発生する応力 $\Delta P_s$ (金型表面で高温時の圧縮応力と低温時の引張応力の差)が高いほどヒートチェックは早期に発生

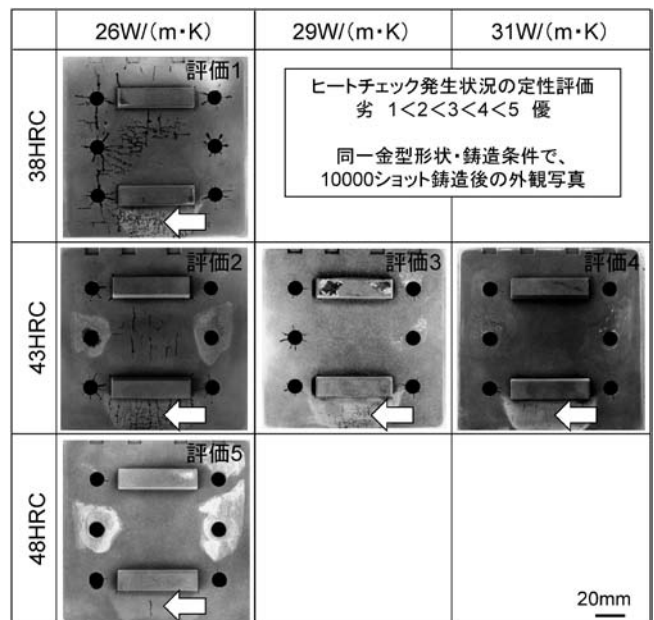


図1 ダイカスト金型のヒートチェック発生に及ぼす硬さと熱伝導率の影響。

\* 大同特殊鋼株式会社研究開発本部；1)主任研究員 2)係員(〒457-8545 名古屋市南区大同町 2-30)

\*\* 大同特殊鋼株式会社特殊鋼製品本部；係員

“DHW” Welding Rod for Rebuilding of Die Casting Mold; Takayuki Shimizu\*, Naoki Umemori\*, Tetsuya Masuda\*\* and Hirotsugu Horio\*(\*Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd., Nagoya. \*\*Speciality Steel Business Center, Daido Steel Co., Ltd., Tokyo)

Keywords: welding rod, rebuilding, die casting, mold, 18%Ni maraging steel, heat check resistance

2014年 9月18日受理[doi:10.2320/materia.53.625]

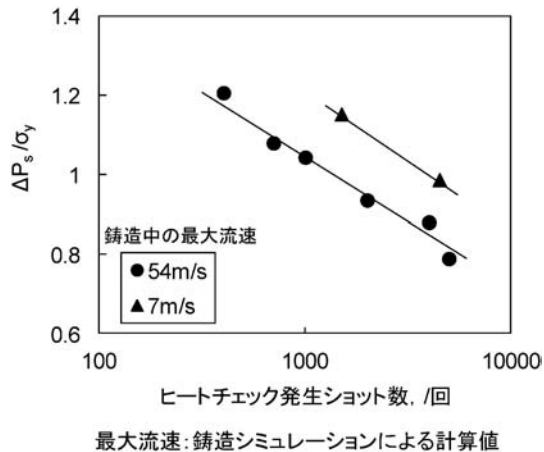


図2 ヒートチェックに及ぼす強度と応力の影響.

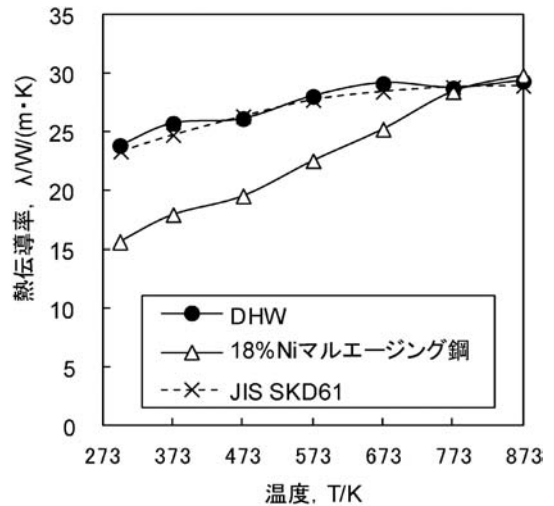


図4 熱伝導率の比較.

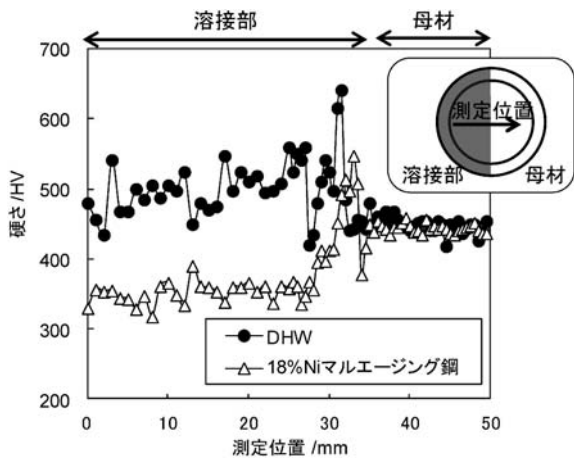


図3 溶接まま状態での硬さ比較.

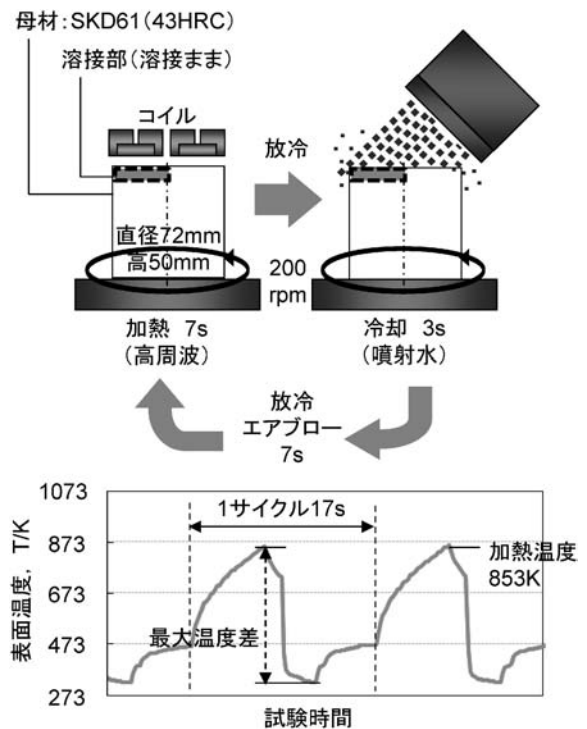


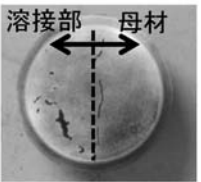
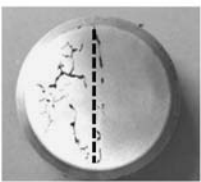
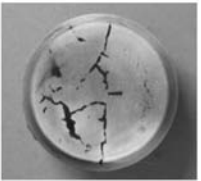

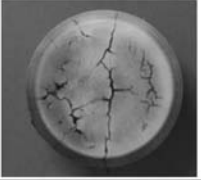
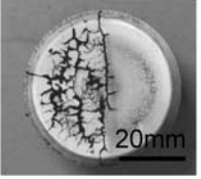
図5 耐ヒートチェック性評価の試験概要.

することを示している. よって, ヒートチェック発生ショット数を向上させるためには, 高強度と高熱伝導率により,  $\sigma_y$  を向上,  $\Delta P_s$  を減少させることが重要と考えられる.

### 3. ダイカスト金型用専用肉盛溶接材

開発された肉盛溶接材 DHW は, 溶接ままの18%Ni マルエージング鋼よりも高強度と高熱伝導率を狙って, ダイカスト金型に多く用いられる SKD61 (主成分0.4% C-1% Si-5% Cr-1.2% Mo) をベースに, コバルトを含まず (0.1% 未満), 炭素量 (0.15~0.30%) とシリコン量 (0.2~1.0%) の最適化を行った. 図3 にティグ溶接ままの硬さ分布, 図4 に溶接部から採取した試験片で測定した熱伝導率の結果を示す. DHW は18%Ni マルエージング鋼より硬さも熱伝導率も高いことがわかる. 耐ヒートチェック性を評価<sup>(5)</sup> するため, 図5 の模式図に示す方法, 条件で試験を行った. 加熱と冷却を1サイクルとして5000, 15000, 25000 サイクルのヒートチェック発生状況を図6 に示す. いずれもサイクル数の増加に伴い, クラックの長さや本数が増えていき, 特に18%Ni マルエージング鋼は試験片右側の非溶接部 (母材) に比べて多数のクラ

ックが発生した. これは実際のダイカスト金型での評価と同様に, 18%Ni マルエージング鋼の溶接部は早期にヒートチェックが発生し, すぐに補修が必要になることを本試験でも確認できた. これに対し DHW は明らかにクラック数が少なく, 25000 サイクル時のヒートチェック発生状況と18%Ni マルエージング鋼の5000 サイクル時の状況がほぼ同程度と見てとれる. DHW の硬さと熱伝導率が18%Ni マルエージング鋼よりも高いことが, この結果につながったと考えられる<sup>(6)</sup>.

	DHW	18%Ni マルエージング鋼
5,000回		
15,000回		
25,000回		

母材:SKD61(43HRC)

図6 溶接まま状態での耐ヒートチェック性試験結果.

#### 4. ま と め

ダイカスト金型のヒートチェック発生を抑制するためには、高強度、高熱伝導率が有効と考えられる。金型補修に一般的に用いられてきた18%Niマルエージング鋼よりも高強度で高熱伝導率となる溶接補修材 DHW が開発されたことで、ダイカスト金型のメンテナンスにかかる費用の削減、補修時間の短縮、あるいは、次のメンテナンスまでの期間延長などで製造コスト低減が図れると推測している。

#### 文 献

- (1) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署：特定化学物質障害予防規則。
- (2) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署：労働安全衛生法施行令。
- (3) 河野正道：電気製鋼，85(2014)，53-61。
- (4) 社団法人日本ダイカスト協会：ダイカスト技能者ハンドブック，(2006)，169。
- (5) 梅森直樹，堀尾浩次，増田哲也：電気製鋼，85(2014)，63-70。
- (6) 日刊工業新聞他3紙掲載：2014年2月5日，溶接補修材 金型寿命を5倍に延長。

## 談話室

# サバティカル研修制度 による留学体験

熊本大学准教授；  
大学院自然科学研究科 松田光弘

私は2014年6月から翌年2月まで、熊本大学サバティカル研修制度にてオーストリアのウィーン大学(University of Vienna)に長期滞在させて頂いております。本稿では若手教員からみたこの制度の意義や効果、そして滞在先となっているウィーン大学等についてご紹介させていただきます。

大学教員にとってサバティカルとは、講義をはじめ教育や入試関係業務、その他大学の管理・運営に関する役割等を長期間免除される長期休暇のことであり、研究休暇や在外研究などとも呼ばれています。本学においてもサバティカル研修に関する規則第3条「サバティカル研修に従事することができる者は、本学の教員として勤務を開始した日から起算して5年以上継続して勤務した者とする。(以下、省略)」を満たし、自己申告した上で各部署の承認が得られればどの教員も利用可能な制度となります。これまでに本学工学部では数名の著名な先生方が活用されていますが、本制度設立の背景には若手教員のグローバル意識を高める制度でもあることを拝聴し、海外の環境を体感でき、さらに自身の研究も見つめ直す絶好の機会であると思志願しました。滞在先にて知りましたが、海外でのサバティカル制度では、時に教科書や解説等の執筆にも充てるそうです。本制度の利点として滞在国内(複数国も可)・期間・研修内容等すべて自身の裁量に委ねられているため、滞在先について恩師に相談したところ「著名な先生も良いかもしれないが、選択肢として若手の教授で精力的に活動され今後のパートナーとしてつきあっていける研究グループはどうか？」と御助言頂きました。このアドバイスを念頭に最新鋭の設備が整っている研究室も検討しましたが、研修後も現有の装置による研究の持続性を優先し、かつ一緒に滞在する家族の安全面も考慮した上でウィーン大学 Electron Microscopy Group に行くことにしました。

オーストリアの首都であるウィーンは、オペラ座や楽友協会など「音楽の都」として有名で、ヨーロッパ圏内をはじめ世界各地から多くの観光客が訪れます。また世界遺産に登録されているシュテファン寺院やシェーンブルン宮殿など市内随所に歴史的建造物や文化遺産が並んでいます。その市内約20ヶ所に存在するウィーン大学は1365年創立のドイツ語圏内最古の総合大学で15学部、4センター、約92,000人の学生が在籍しています。有名な物理学者ボルツマンやシュレーディンガーをはじめ11名のノーベル受賞者を輩出しており、その他教鞭をとったドップラーなどの名前が大学構内のホールやレクチャールームにも名づけられています。

滞在先は Physics of Nanostructured Materials, Electron Microscopy Group, Thomas Waitz 先生と Christian Renten-

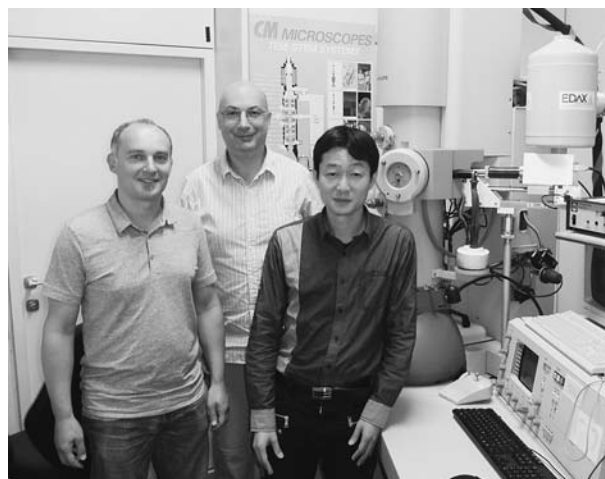


図1 Electron Microscopy 研究室にて：左から Prof. C. Rentenberger, Prof. T. Waitz, 筆者。

berger 先生にお世話になっています。ここでは金属間化合物や形状記憶合金などの微細粒における相変態および格子欠陥等について、X線や透過電子顕微鏡による微細構造解析を実施しています。誰もが海外研究機関にて体感するように教員と学生との距離感が近く頻繁にディスカッションが行われており、研究スタイルとしては膨大な実験データを出すことなく、数少ない貴重なデータから多角的に考察を行う傾向にあります。また研究室には Master コースから配属され、Doctoral Students および Post Docs を中心に運営されています。

滞在して5ヶ月目になりますが、サバティカル制度を利用して海外留学を行うことに良し悪しがあるように思えます。日々の実験を重視する研究者にとっては、マニュアルや独特な癖など熟知した自前の装置がある日本国内に留まった方が研究は格段に進みますが、留学によって客観的な視点で自身の研究スタイルや研究室運営を振り返ることができ、また指導学生との接し方についても見直すことができると思います。さらに海外の大学講義やセミナーに参加することで、学生と教員との双方向型講義も体感できます。研究内容によっては帰国後も共同研究という形で実施でき、それを通じて学生も含めた研究者間の交流など人的ネットワークも広がります。したがって、本制度を利用することで実験進度の遅れを考慮してもそれを凌ぐ多くの貴重な経験と波及効果が得られると思います。しかしながら、一方で本制度を利用することは、当事者に代わって他の方々に日常業務の負担を強いることにつながるため、組織全体の相互理解と特に若手教員が申請できるような雰囲気づくりが必要不可欠であり、今後さらに本制度申請への敷居が低くなることを願う次第です。

末筆になりましたが、本制度の申請から後押し頂いた先生方、お認め頂いたマテリアル工学科の先生方、革新ものづくり教育センター関係の皆様、そして滞在中今もお公に渡って大変お世話頂いている Thomas Waitz 先生と Christian Rentenberger 先生、そして研究室の皆様がこの場をお借りして御礼申し上げます。

(2014年10月14日受理)[doi:10.2320/materia.53.628]

(連絡先：〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

# 本 会 記 事

会 告	2015年春期(第156回)講演大会講演募集	629
	2015年春期(第156回)講演大会ご案内ならびに参加申込みに ついて	630
	2015年春期講演大会における企業説明会への学生参加者の 募集	630
	論文賞(第63回)候補論文推薦(自薦)のお願い	631
	まてりあ賞(第5回)推薦(自薦)のお願い	631
	学術貢献賞(第13回)候補者推薦依頼	631
	功労賞(第13回)候補者推薦依頼	632
	奨励賞(第25回)候補者推薦依頼	632
	村上奨励賞(第12回)候補者推薦依頼	632
	各種学術賞・奨励金等候補者推薦について	633
	2015年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集	633
	研究会	633
	監事選挙中止のお知らせ	636
	代議員選挙投票のご依頼	636
	2015年度会費お払い込みのお願い	640
	事務局：年末・年始休業のお知らせ	643
支部行事	材料系学協会情報コーナー	634
掲示板	新入会員	635
会誌・欧文誌12号目次	行事カレンダー	639
次号予告		640

事務局 渉外・国際関係：secgnl@jim.or.jp  
 会員サービス全般：account@jim.or.jp  
 会費・各種支払：member@jim.or.jp  
 刊行物申込み：ordering@jim.or.jp  
 セミナー・シンポジウム参加申込み：meeting@jim.or.jp  
 講演大会：annualm@jim.or.jp  
 総務・各種賞：gaffair@jim.or.jp  
 学術情報サービス全般：secgnl@jim.or.jp  
 分科会：stevent@jim.or.jp  
 まてりあ・広告：materia@jim.or.jp  
 会誌・欧文誌：editjt@jim.or.jp

公益社団法人日本金属学会  
 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32  
 TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312  
<http://jim.or.jp/>

・会告原稿の締切は毎月1日で、翌月号掲載となります。

・ご連絡先住所変更等の手続きは、本会ホームページ [会員マイページ](#) からできます。

## 会 告 (ホームページもご参照下さい)

### 2015年春期(第156回)講演大会講演募集

◎2015年春期講演大会を下記の通り開催いたします。

会 期：2015年3月18日(水)～3月20日(金)

会 場：東京大学駒場I地区キャンパス(〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1)

ただ今、下記の通り講演を募集しております。ご確認の上、お申込下さい。

今回より、講演申込と大会参加登録(参加費支払い)が同時となりますのでご注意下さい。

講演申込ホームページアドレス	<a href="http://www.jim.or.jp/convention/2015spring/">http://www.jim.or.jp/convention/2015spring/</a>	
講演申込および概要原稿提出期限(締切厳守！)	講演申込と講演概要提出は同時に行う。(同時に行わない場合は、講演申込として受理されない)	
公 募 シ ン ポ ジ ウ ム	11月10日(月)13時～12月5日(金)17時	
一 般 講 演	11月25日(火)13時～12月15日(月)17時	
共 同 セ ッ シ ョ ン		
ポスターセッション		
講演についてのお問合せ・郵送申込送付先：公益社団法人日本金属学会 講演大会係	annualm@jim.or.jp 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32	

#### これから入会して講演申込をされる方へ

会員認定：期限内に入会手続きを行い、年会費を納入下さい。

年会費納入期日までに会費の払い込みがない場合は、プログラムに掲載されていても、講演不許可の措置をとる。

インターネットで入会申込み下さい。入会申込確認後はID(会員番号)とパスワードが即日メール返信される。

入会申込 URL	<a href="http://www.jim.or.jp/memberinfosys/member/">http://www.jim.or.jp/memberinfosys/member/</a>	
講 演 種 別	入会申込期限	年会費納入期限
公 募 シ ン ポ ジ ウ ム	12月3日(水)	2015年1月30日(金)
一 般 講 演	12月12日(金)	
共 同 セ ッ シ ョ ン		
ポスターセッション		
会員パスワード・入会・会費のお問合せ：会員サービス係	member@jim.or.jp	

○詳細は、まてりあ53巻11号(561頁)並びにホームページをご覧ください。

# 2015年春期(第156回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

大会参加予約申込締切：2015年2月20日(金)17:00

◎講演大会参加登録ならびに懇親会参加申込みも受け付けが始まっております。参加申し込みは、インターネット申込となります。詳細は、下記申込要領をご覧ください。

事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み〈登録期間〉11月10日(月)～2015年2月20日(金)17:00終了

大会参加申込み URL <http://www.jim.or.jp/convention/2015spring/>

予約申込締切後、予約申込者へ大会参加証、講演概要集 DVD を送付します。懇親会参加申込をされた方には、懇親会参加券もあわせてお送りします。なお、領収書は、申込画面にて各自印刷が可能です。2月20日以降は当日申込みとなります。

当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込み下さい。

## ◆大会参加費(講演概要集 DVD 代含む) ※年会費とは異なります。

参加費・講演概要集 DVD・懇親会の消費税扱については、ホームページ(一覧表 PDF)をご参照下さい。

予約申込締切日	2月20日(金) (申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
会員資格		
正員・前維持員会社社員・鉄鋼協会会員	9,000円	10,000円
学生会員	6,000円	6,500円
非会員 一般	19,000円	20,000円
非会員 学生(大学院生含む)	14,000円	15,000円

## ◆懇親会費(消費税込み)

予約申込締切日	2月20日(金) (申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
一般	5,000円	7,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	3,000円	3,000円

・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

## ◆支払方法

クレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、コンビニ決済の場合は、手数料をご負担願います。また、入金後のご返金は致しかねます。2月20日(金)の入金日をもって予約申込完了となります。

## ◆講演概要集 DVD のみ購入する場合(※講演発表・聴講するためには、上記大会参加申込みが必要です。)

件名を「2015年春期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」とし、①申込者氏名 ②会員資格(会員番号も併記) ③申込数 ④住所をご記入の上、E-mail: [ordering@jim.or.jp](mailto:ordering@jim.or.jp) 宛にお申込み下さい。

3月4日の発行後、請求書を添えて送付いたします。

会員価：本体3,810円＋税 定価：本体10,000円＋税 送料：360円

### 参加申込・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312(各ご連絡・お申込は、FAXでも可) E-mail: [member@jim.or.jp](mailto:member@jim.or.jp)



## 2015年春期講演大会における企業説明会への学生参加者の募集

2015年春期講演大会に合わせ、キャリアサポートの一環として本会主催による企業説明会を、大会前日に東京大学駒場 I 地区キャンパスにて開催します。講演大会に参加する学生を対象に募集していますので、本会ホームページの講演大会参加申込み画面から申込み下さい。詳細は、まてりあ11号会告(560頁)またはホームページを参照下さい。



## 各賞推薦(自薦)のお願い

### 第63回論文賞候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では秋の講演大会で前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された論文の中から特に優秀な論文に対し、毎年論文賞を授賞しております。論文賞候補論文の推薦は会誌、欧文誌の「編集委員」または「論文査読者」あるいは「代議員」の方々をお願いしております。また、より広く推薦していただくため、「著者本人」からの自薦も認めております。つきましては、下記ご参照の上、奮ってご応募をお願いいたします。

\*論文賞推薦書(様式)にチェックリストを設け、推薦者に論文賞候補論文の要件をチェックいただくことになりました。

#### ◎第63回論文賞の対象論文

- 日本金属学会誌：第78巻 1～12号(2014年)掲載分
- Materials Transactions: Vol. 55 No. 1～12(2014年)掲載分

注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

- (1) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」又は「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。  
Materials Transactions 掲載論文は、「Regular Article」又は「Express Regular Article」のカテゴリーに属する論文であること。
- (2) Materials Transactions に英文発表後1年以内に日本金属学会誌に掲載された論文若しくは日本金属学会誌に掲載後1年以内に Materials Transactions に投稿された論文ではないこと。
- (3) コピーライトが本会に帰属されていること(本会に著作権が委譲されている論文)。

#### ◎推薦書の記入要項

1. 論文題名 2. 著者名 3. 掲載・巻・号・頁
4. 対象部門(物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセス、工業材料の中から選択) 掲載された部門で選考されます
5. 推薦理由(300～400字)
6. 推薦者名(勤務先・連絡先 TEL・E-mail も記入下さい)

推薦締切：2015年2月20日(金)

送付・照会先 下記メール宛に「論文賞推薦」と明記の上、推薦書(ダウンロードできます)をワード文書で作成し添付書類でお送り下さい。送付後3日過ぎても受理メールが無い場合はお問い合わせ下さい。

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1丁目14-32

(公社)日本金属学会 論文賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: editjt@jim.or.jp

### 第5回まてりあ賞推薦(自薦)のお願い

会報編集委員会では毎年、会報「まてりあ」に論文または記事を掲載し、金属及びその周辺材料の学術及び科学技術の振興に顕著な貢献をしたと思われる方に授賞をする「まてりあ賞」を設けております。

会報「まてりあ」に掲載された記事(過去3年)の中から、授賞候補論文および記事を「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「一般会員(正員3名以上の連名)」から推薦してもらい選考の上、授賞いたします。下記推薦要領により、皆様からの積極的なご推薦をお願いいたします。

#### ■第5回「まてりあ賞」推薦要領

- (1) **まてりあ論文賞** 2編以内  
日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した論文で、学術または科学技術上優秀でかつ金属およびその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。

- (2) **まてりあ啓発・教育賞** 2編以内

日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した記事で、まてりあ記事の特徴を活かし、金属およびその周辺材料に係る啓発や教育に顕著な貢献をした記事に対し授賞する。

授賞対象記事 2012年～2014年掲載済記事(授賞済記事は除く：授賞済記事はホームページに掲載します。)

- 記事種別 (1) **まてりあ論文賞**：解説、最近の研究、技術資料、集録、新進気鋭、特集記事、物性・技術データ最前線、プロジェクト報告  
(2) **まてりあ啓発・教育賞**：講義ノート、入門講座、プロムナード、実学講座、材料教育、材料科学のハイオニアたち

授賞 2015年秋期講演大会(九州大学)にて。

推薦資格 「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「正員3名以上の連名」

推薦方法 ①種別②タイトル③著者名④掲載巻号頁⑤推薦理由(300～400字)⑥推薦者名をオンラインで入力する。ホームページ：まてりあより入力して下さい。または、郵送・FAX、E-mail で送信する。

推薦締切 2015年2月20日(金)

URL <http://data.jim.or.jp/jim/materiashou/ronbun.html>

<http://data.jim.or.jp/jim/materiashou/kyoiku.html>

申込問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 会報編集委員会係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: materia@jim.or.jp

### 第13回学術貢献賞候補者推薦のお願い

本会では地域振興の観点から各地域に根ざした技術の進歩発達に貢献した個人あるいは組織を対象とした「学術貢献賞」を設けております。第13回の授賞式は、2015年秋期講演大会(九州大学)の9月16日に行い、また会期中に受賞記念講演をお願いしております。

多数の優秀な候補者を推薦いただくため、広く会員からの推薦をもとめております。下記要領により積極的にご推薦下さい。

\*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

#### ■推薦要領

候補者の対象 各地域において金属学または金属工業に関する学術または技術の進歩発達に功労があった方。

受賞人数 各支部1名、但し関東支部と関西支部は1～3名程度  
受賞者の方には、秋期講演大会の折に受賞記念講演をお願いしております。

推薦資格 本会支部長、代議員または3名以上の正員連名による推薦

推薦書記入方法 ①所定の推薦書様式に合わせてご推薦願います。  
②最終学歴は卒業年次および学校名(学部名)を記入、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて記入して下さい。  
③業績の概要と推薦理由は1,000字程度で記入して下さい。

推薦手続き 下記メール宛に「第13回学術貢献賞推薦」と明記し、お送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。(所定様式はホームページからダウンロードして下さい。)

推薦締切 2015年2月20日(金)

申込問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

## 第13回功労賞候補者推薦のお願い

本会では45歳以上の研究・技術分野に功績があった方を対象として、日本金属学会賞に次ぐ賞として「日本金属学会功労賞」を設けております。第13回の授賞式を2015年秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。多数の優秀な候補者を推薦いただくため、広く正員からの推薦(3名以上連名)をもとめております。下記要領により積極的にご推薦下さい。

\*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

### ■推薦要領

**候補者の対象** 2015年5月31日時点で45歳以上、各組織における定年までの方

**対象部門** 学術部門：金属学または金属工業に関する学術の進歩発展に功績があった方

技術部門：金属学または金属工業に関する技術の進歩発展に功績があった方

**受賞人数** 学術部門2名 技術部門1名

**推薦資格** 本会代議員または3名以上の正員連名による推薦

**推薦書記入方法** ①所定の推薦書様式に合わせてご推薦願います。  
②最終学歴は卒業年次および学校名(学部名)を記入、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて記入して下さい。  
③業績の概要と推薦理由は1,000字程度で記入して下さい。  
④論文リストは特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、計15編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、共著者を記載の上、A4版1～2頁で提出下さい。

**推薦手続き** 下記メール宛に「第13回功労賞推薦」と明記し、お送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。(所定様式はホームページからダウンロードして下さい。)

**推薦締切** 2015年2月20日(金)

**申込問合せ先** 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

## 第25回奨励賞候補者推薦のお願い

本会では次世代を託する優れた若手研究者を顕彰するために1991年から「日本金属学会奨励賞」を設けており、第25回の授賞式を2015年の秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。

歴史の転換期にある今日、若い世代の意識の高揚こそが何よりも望まれ、金属・材料工学ならびに関連分野で活躍しつつある若手研究者の中から将来性豊かな人材をご推薦下さいますようお願いいたします。

\*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

### ■推薦要領

**候補者の対象** 2015年5月31日時点で33歳以下の方、金属・材料工学ならびに関連分野で卓越した業績を挙げつつある研究者。工業技術部門は企業の研究者または技術者を対象とします。

**対象部門** 物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセッシング、工業材料、工業技術部門の7部門

**推薦資格** 本会代議員、分科会委員または3名以上の正員連名による推薦

**推薦書記入方法** ①所定の推薦書様式に合わせてご推薦願います。  
②最終学歴は卒業年次および学校名(学部名)を記入、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて記入して下さい。  
③研究部門は物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセッシング、工業材料、工業技術部門の7部門となっております。どの部門に推薦されるか記入して下さい。(分野別に選考いたします)  
④業績の概要と推薦理由は1,000字程度で記入して下さい。工業技術部門は企業人としての実績(特許・社内表彰等)も記入下さい。  
⑤論文リストは特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、計15編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、共著者を記載の上、A4版1～2頁で提出下さい。

**推薦手続き** 下記メール宛に「第25回奨励賞推薦」と明記し、お送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。(所定様式はホームページからダウンロードして下さい。)

**推薦締切** 2015年2月20日(金)

**申込問合せ先** 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

## 第12回村上奨励賞候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある若手研究者を奨励するため「日本金属学会村上奨励賞」を設けており、第12回の授賞式を2015年の秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

\*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

### ■推薦要領

**候補者の対象** 金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある、2015年5月31日時点で40歳以下の若手研究者。

**推薦資格** 本会代議員、分科会委員または3名以上の正員連名による推薦

**受賞人数** 若干名

**推薦書記入方法** ①推薦書様式に合わせてご推薦願います。  
②最終学歴は卒業年次および学校名(学部名)を記入、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて記入して下さい。  
③推薦理由は1,000字程度で記入して下さい。  
④論文リストは特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、計15編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、共著者を記載の上、A4版1～2頁で提出下さい。

**推薦手続き** 所定の様式に必要な事項を記入の上、下記メール宛に「第12回村上奨励賞推薦」と明記し、お送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。(所定様式はホームページからダウンロードして下さい。)

**推薦締切日** 2015年2月20日(金)

**申込・問合せ先** 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

## 各種学術賞・奨励金等候補者推薦について

1. 山田科学振興財団研究援助(本会締切 1月31日)
2. 報公賞(本会締切 3月31日)

本会では積極的に候補者の推薦にあっております。会員各位にはこれら学術賞、奨励金等の候補者として適当と思われる方を本会へ推薦または自薦して下さい。会員がこれらの賞および奨励金の候補者を推薦または自薦しようとするときは「〇〇賞に推薦、または自薦」と明記の上、資料を添えて本会事務局まで申し出て下さい。

### 1. 山田科学振興財団研究援助

1件あたり100~500万円、総額4000万円、援助総件数は10件程度  
対象：自然科学の基礎的研究

### 2. 報公賞 賞金 500万円

工学の進歩に著しく貢献する成果を挙げた研究1件を対象とする(多年にわたる研究成果の総合であるよりむしろ独創性の発揮と進歩への貢献度の見地から顕著な業績と認められる研究。したがって原則として他の著名な記念賞の受賞経験者でない新鋭中堅の研究者に重点を置く(60才未満の方)。

### 従来本会へ推薦を依頼してきている主なもの

名 称	昨年の締切期日	照 会 先
山田科学振興財団研究援助	3月31日	大阪市生野区巽西 1-8-1 山田科学振興財団 <a href="http://www.yamadazaidan.jp/">http://www.yamadazaidan.jp/</a>
報公賞	4月30日	東京都中央区銀座 4-5-46 (銀座4丁目ビル) 服部報公会 <a href="http://www.hattori-hokokai.or.jp/">http://www.hattori-hokokai.or.jp/</a>

## 2015年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集

提案期限：2015年2月10日(火) 期日厳守

会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的として、春秋講演大会において会員からの提案テーマによるシンポジウム講演を実施いたして、活況を呈しております。明年の春秋講演大会の公募シンポジウムテーマを募集いたします。次の要領をご参照の上、活発な討論が期待できる有益なテーマを積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

### 【募集対象の講演大会】

2015年秋期講演大会(九州大学伊都キャンパス)

### 【実施要領】

境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイデアによる提案を期待する。また、これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。

採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。

**テーマ責任者** 採択された場合、提案者(企画責任者)はテーマ責任者として、積極的に講演募集を行い、また講演プログラムを編成する。金属学会としては、この種のシンポジウムの企画に積極的な方々が将来、分科会などで主導的な活躍されることを期待している。

① テーマ責任者は会員であることが望ましい。

テーマ責任者名称：企画責任者(シンポジウム chair)、  
テーマ責任者(シンポジウム co-chair)

② 分科会委員が入っていること。

③ テーマ責任者は複数テーマを兼務しないこと。

**講演の種類** 基調講演と応募講演

**提案書の内容** ① テーマ、② テーマ英語名、③ 趣旨、④ 基調講演の予定題目と講演者、⑤ 推定講演数、⑥ 関連分科\* (関

連分科複数記入可)、⑦ 提案者所属・役職/氏名、⑧ 通信先住所・TEL・FAX、E-mail

\*第1分科：エネルギー材料

第2分科：エコマテリアル

第3分科：電子・情報材料

第4分科：生体・福祉材料

第5分科：社会基盤材料

第0分科：材料と社会

**提案書送付先** 下記宛てE-mailで送付して下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。

**テーマの選定** 分科会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。

**採択テーマの告知と講演募集** 「まてりあ」5号2015年秋期講演大会講演募集会告ならびに本会ホームページで行う。

**講演申込締切日** 2015年6月5日(金)予定

**講演プログラム** テーマ責任者がプログラム編成し、分科会運営委員会へ提出する。

**講演時間** 応募講演：15~25分

(+ 討論時間 5~10分 = 合計20~35分)

基調講演：30分(+ 討論時間10分 = 合計40分)

**講演概要原稿分量** A4判1ページ(応募講演、基調講演とも)

[参考]2014年秋期講演大会における公募テーマ

S1	ナノ構造情報のフロンティア開拓-材料科学の新展開
S2	励起反応場で創成した低次元ナノ材料とその機能(12)
S3	エレクトロニクス薄膜材料の科学と技術
S4	金属間化合物材料の新たな可能性
S5	バルクナノメタルIV
S6	シンクロ型LPSO構造の形成メカニズム
S7	マテリアルズ・インフォマティクス

問合・照会先 E-mail: [stevent@jim.or.jp](mailto:stevent@jim.or.jp)

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会 講演大会委員会宛

## 研究集会

### 研究会 No. 70

## 第4回プラストンに基づく変形現象研究会 ～双晶変形およびマルテンサイト変態～

[共催]京都大学 構造材料元素戦略研究拠点

近年、転位の概念だけでは必ずしも理解しきれない変形現象が顕在化しつつある。回位(disclination)の運動によるナノ結晶材料における複数の結晶粒の協調的なせん断や回転、原子のシャフリングを要する六方晶や金属間化合物における変形双晶、マルテンサイト変態、粒界すべりなどがこの範疇に属し、材料の変形現象を包括的に理解する上位概念として変形子(プラストン)が提案されている。本研究会は新規な挑戦的概念であるプラストンを題材に新たな視点から材料の変形と破壊についての基礎的議論を行うために企画された。今回は、双晶変形、マルテンサイト変態などに注目して、活発な意見交換を行いたい。

**日 時** 2014年12月19日(金) 11:00~16:30

**場 所** 京都大学吉田キャンパス本部構内  
工学部物理系校舎 2階 214, 215セミナー室  
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

### プログラム

11:00~12:00 (1) NiTi, CuAlMn, NiCoMnIn 系形状記憶合金の極低温域におけるマルテンサイト変態挙動

東北大工 貝沼亮介

(休憩: 12:00~13:00)

13:00~14:00 (2) 熱弾性マルテンサイトの自己調整構造

九大総理工工 西田 稔

(休憩：14：00～14：20)

14：20～15：20 (3) 高 Mn 鋼における転位の可逆的集団運動を利用した耐疲労特性の改善

物・材機構 澤口孝宏

(休憩：15：20～15：30)

15：30～16：30 (4) 総合討論

企画責任者 乾 晴行(京大工)

参加費 無料(参加人数確認のため可能な限り事前参加申し込み下さい)

申込・問合先 **12月12日(金)**までに E-mail または FAX にて氏名、所属電話番号を明記してお申し込み下さい。  
〒606-8501 京都市左京区吉田本町  
京都大学 構造材料元素戦略研究拠点  
大石毅一郎  
☎ 075-753-5573 **FAX** 075-753-5578  
E-mail: admin@esism.kyoto-u.ac.jp

## 研究会 No. 71

### 第2回グリーンエネルギー材料の マルチスケール創製研究会(松江)開催のご案内

本研究会は、材料科学の立場から長期的-短期的視野に立って新規グリーンエネルギー変換システム用材料の創製とともに、従来技術の高効率化を実現するための方策について研究を推進していくことを目的として設立されました。平成20年度-24年度に活動した「格子欠陥制御工学研究会」の実績を踏まえ、ナノからマイクロレベルにおける微細組織のキャラクタリゼーションとその制御、さらにミリから実寸レベルにおける階層構造化技術や材料特性の評価など、グリーンエネルギー材料に対するマルチスケール創製の設計原理の確立に向けた議論を行いたいと思います。昨年に引き続き、下記の要領で第2回研究会を開催致しますので奮ってご参加下さい。特に、博士課程の大学院生、ポスドク等の若手研究者の皆さんのご発表を奨励致します。多くの皆様のご参加を心よりお待ちしております。

日時 2015年1月11日(日)～13日(火)

※11日は夕方からの基調講演と交流会、研究発表会は12日、13日です。13日は午前中にて閉会の予定です。

場所 松江しんじ湖温泉 夕景湖畔 すいてんかく

〒690-0852 松江市千鳥町39

☎ 0852-21-4910

URL: <http://www.suitenkaku.co.jp/>

参加費 無料(宿泊費、交流会費等は別途。1泊2食付、11日泊15,000円、12日泊11,000円(多少の変更あり).)

定員 40名

発表 申込締切 2014年12月5日(金)

1件につき30分発表15分質疑応答。

大学院生・ポスドク等若手研究者の方々は、Distin-guished Paper Award for Young Scientistsの対象となります。

参加 申込締切 2014年12月5日(金)

申込先方法 ホームページにある申込みフォームに必要事項を記入の上、下記世話人宛に E-mail にてお申込下さい。

申込先 (世話人)田中孝治 産業技術研究所ユビキタスエネルギー研究部門

☎ 072-751-9761 **FAX** 072-721-9714

E-mail: [koji.tanaka@aist.go.jp](mailto:koji.tanaka@aist.go.jp)

## 支部行事



### 平成26年度関西支部 鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会 第3回合同研究会のご案内

開催日 2014年12月25日(木)

場所 京都大学吉田キャンパス本部構内 総合研究11号館, 工学部6号館(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)  
キャンパスマップ: [http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/access/campus/yoshida/map6r\\_y/](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/access/campus/yoshida/map6r_y/)

特別講演: 総合研究11号館(地図中 No. 52)

学生ポスターセッション, 懇親会: 工学部6号館(地図中 No. 56)

交通 (1) 京阪電車「出町柳」駅下車, 東へ徒歩15分

(2) 京都市バス「京大正門前」バス停下車, 東へ徒歩3分

(3) 京都市バス「百万遍」バス停下車, 徒歩1分

プログラム

13:30～14:15 特別講演1「鋼材の強制冷却における冷媒の流動と熱輸送」

京大エネルギー科 准教授 藤本 仁 先生

14:15～15:00 特別講演2「超音波を用いたナノ材料の創製と応用」

東北大金研附属研究施設関西センター 特任准教授 水越克彰 先生

15:15～17:15 学生ポスターセッション

17:30～19:00 懇親会(優秀ポスター発表の表彰)

(大学教員・企業からご参加の方には2,000円程度の参加費を頂戴する予定です)

参加申込方法

・学生ポスターセッションにて発表をご希望の方

(1)発表者氏名, (2)発表者所属・学年, (3)連名者氏名・所属, (4)発表題目, (5)連絡先(メールアドレス), (6)懇親会参加の有無, を明記の上, 下記まで E-mail にてお申し込み下さい。

発表要旨集は作成致しませんので, 原稿等は不要です。掲示用ポスターパネルの大きさは, 縦1500mm×横900mmですので, 各自ポスターをご準備下さい。

ポスター発表申込〆切: 2014年12月15日(月)17:00

・参加(聴講)をご希望の方

(1)氏名, (2)所属, (3)連絡先(メールアドレス), (4)懇親会参加の有無, を明記の上, 下記まで E-mail にてお申し込み下さい。

参加(聴講)申込〆切: 2014年12月18日(木)17:00

申し込み・問合わせ先

鉄鋼プロセス研究会 幹事

長谷川将克(京大工研 准教授)

E-mail: [hasegawa.masakatsu.7r@kyoto-u.ac.jp](mailto:hasegawa.masakatsu.7r@kyoto-u.ac.jp)

☎ & **FAX** 075-753-5431



〈公募類記事〉  
 無料掲載：募集人員，締切日，問合せのみ掲載。  
 有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。  
 ・「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税  
 ・ホームページのみ掲載；10,000円＋税  
 〈その他の記事〉 原則として有料掲載。  
 ・原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載  
 ・原稿提出方法：電子メールとFAX両方(受け取りメールの確  
 認をして下さい)  
 ・原稿送信先：FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

◇東北大学金属材料研究所  
 強磁場超伝導材料研究センター 教授 公募◇

公募人員 教授 1名  
 所 属 強磁場超伝導材料研究センター  
 専門分野 専門分野は問わないが，定常強磁場施設を用いた強磁場  
 利用研究，強磁場関連技術の開発，施設の維持・管理な  
 らびに施設を用いた共同利用研究の推進を担える方。  
 応募資格 博士の学位を有する方  
 着任時期 2016年4月  
 任 期 なし  
 提出書類 (1) 履歴書(写真貼付)  
 (2) 研究業績リスト(原著論文，国際会議の発表・プロ  
 シーディング，著書等)  
 (3) 主要論文別刷10編(コピー可)  
 (4) これまでの研究概要(2,000字程度)  
 (5) 着任後の研究計画(2,000字程度)  
 (6) 推薦書又は照会可能者2名の氏名と連絡先  
 推薦書以外の書類は電子版での提出を推奨。電子版の  
 場合，PDF ファイルに変換してUSB やDVD 等のメデ  
 イアに入れ，OS 等の名称を書き添えて郵送する事。  
 応募締切 2015年4月30日(木)  
 書類送付先 〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1  
 東北大学金属材料研究所 所長宛  
 \* 封筒に「強磁場センター教授応募書類在中」と朱書・  
 書留送付のこと。  
 (原則として提出書類は返却いたしません)  
 問合せ先 教授 野尻浩之 ☎ 022-215-2015  
 E-mail: nojiri@imr.tohoku.ac.jp  
 詳細は下記 URL をご参照下さい。  
[http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op\\_list.html](http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op_list.html)

◇独日本原子力研究開発機構  
 平成27年度特別研究生募集◇

募集人数 特別研究生35名程度  
 所 属 研究開発部門又は研究開発拠点他  
 研究分野 原子力全般 ※具体的なテーマについては，機構 HP  
 (<http://www.jaea.go.jp/saiyou/internship/index.html>)を  
 御参照下さい。  
 応募資格  
 (1) 平成27年4月以降，国内の大学院(博士前期課程，博士後期  
 課程，一貫制博士課程又は修士課程)に在学又は在学が見込  
 まれる方。ただし，受入期間中に博士後期課程の在学期間が  
 5年を超える方及び一貫制博士課程の在学期間が7年を超え  
 る方は除く。  
 (2) 博士後期課程修了又は修了に必要な単位を取得後退学し，継  
 続して大学院の研究生として在籍している方。ただし，平成  
 27年4月1日時点で博士後期課程修了又は取得退学後2年

以内であること。  
 受入期間 平成27年4月1日から平成28年3月31日までのうち3  
 か月～1年間

研究助成  
 (1) 奨励金 月額10万円を支給(ただし，大学院研究生を除く)  
 (2) 旅費  
 ①大学院所在地-実習先間の往復交通費(最大3回)を支給  
 ②研究成果を本人が学会発表する場合の旅費を支給  
 (3) 学会参加費(本人が発表するときに限る)

応募書類  
 (1) 原子力機構指定様式の平成27年度特別研究生審査・受入申  
 込書，平成27年度特別研究生身上調書，平成27年度特別研  
 究生審査書(様式は機構 HP よりダウンロードできます。)  
 (2) 学業成績証明書(学部以降のもの)  
 (3) 現在の在学又は在籍を証明する書類(在学証明書又は在籍証  
 明書)  
 (4) 主な既発表論文の写し及び論文リスト

応募締切 2015年1月9日(金) 消印有効  
 応募書類の提出先及び問合せ先  
 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方白根 2 番地 4  
 独立行政法人日本原子力研究開発機構  
 原子力人材育成センター 原子力人材育成推進課  
 特別研究生募集担当  
 ※封筒に特別研究生応募書類在中と朱書きのこと  
 ☎ 029-282-6460, 029-282-6507  
 FAX 029-282-6040  
 E-mail: nuhrdec-daigaku@ml.jaea.go.jp

集 会

◇MANA International Symposium 2015◇

主 催 独立行政法人物質・材料研究機構  
 WPI 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)  
 日 時 2015年3月11日(水)～3月13日(金)  
 場 所 つくば国際会議場(<http://www.epochal.or.jp/>)  
 内 容 【基調講演】ノーベル賞受賞者予定  
 【招待講演】国内外の著名研究者17件予定  
 【一般講演】MANA PI, 他, 計13件予定  
 【ポスター発表】MANA 研究者, 他, 一般公募有。  
 参加費 無料  
 ポスター発表・参加申込方法  
<http://www.nims.go.jp/mana/2015/>  
 をご覧ください。なお，参加のみは当日も受け付けます。  
 ポスター発表公募締切 1月9日(金)  
 事前参加申込締切 3月4日(水)  
 連絡先 独物質・材料研究機構  
 WPI 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)  
 MANA シンポジウム2015事務局  
 ☎ 029-860-4709 FAX 029-860-4706  
 E-mail: MANA-Symposium@nims.go.jp

## レアメタル研究会

- 主 催 レアメタル研究会  
 主宰者：東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
- 共 催 東京大学マテリアル工学セミナー  
 レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会
- 開催会場 東京大学生産技術研究所  
 An棟2F コンベンションホール(〒153-8505東京都  
 目黒区駒場4-6-1)  
 (最寄り駅：駒場東大前，東北沢，代々木上原)
- 参加登録・お問合わせ  
 東京大学 生産技術研究所  
 岡部研究室 学術支援専門職員 宮寄智子  
 FAX 03-5452-6313 E-mail: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp

平成26年度 レアメタル研究会のご案内(予定) 2014年10月27日現在

- 第64回 2015年1月9日(金)  
 ★貴金属シンポジウム(第2回)+新年会★(合同開催)
- 第65回 2015年3月13日(金)(平成26年度 最終回)

- 第64回 2015年1月9日(金)  
 ★貴金属シンポジウム(第2回)+新年会★(合同開催)  
 特別合同シンポジウム：貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線  
 10:00～

非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)とサステイナブル材料国際研究センターとの特別・合同シンポジウム

テーマ：貴金属製錬・リサイクル

時間：午前10:00～

★企業の活動や研究を中心にプログラムを組む予定★

★ポスター発表会も開催予定★

午後6:30～ 研究交流会・意見交換会(An棟1F カボベリカーノ)

- 第65回 2015年3月13日(金) 15:00～ An棟2F コンベンションホール  
 (平成26年度 最終回)

テーマ：非鉄資源・非鉄金属の未来

時間：午後3:00～

講演：

- レアメタル資源の現状と将来(仮)(60分)  
 独立行政法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境部門  
 鉱物資源研究グループ グループ長 高木哲一 講師
- レアアースの資源・製錬の現状と将来展望(仮)(60分)  
 ～中国・内モンゴル地地区の鉱山・製錬所・廃棄物処分場  
 などの視察報告～  
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
- 非鉄産業の過去・現在・未来(仮)(60分)  
 三井金属鉱業株式会社 代表取締役社長 仙田 貞雄 講師

午後6:30～ 研究交流会・意見交換会(An棟2F ホワイエ)

\*研究会ホームページ\*

[http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40\\_j.html](http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html)

## 米国版レアメタル研究会(RMW)のご案内

Workshop on Reactive Metal Processing

(Reactive Metal Workshop)

- RMW10 March 20 (Fri)-21 (Sat), 2015, Cambridge, MIT

詳しくは Reactive Metal Workshop の HP 参照：

<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/core-to-core/rmw/>

スプリング・サイエンスキャンプ2015 募集  
～高校生のための先進的的科学技術体験合宿  
プログラム～

第一線で活躍する研究者・技術者から本格的な講義・実験・実習を受けることができるプログラム

- 主 催 独立行政法人 科学技術振興機構  
 開 催 日 2015年3月23日～3月29日の期間中の2泊3日  
 対 象 高等学校生等  
 会 場 大学，公的研究機関，民間企業等  
 応募締切 2015年1月20日(火)17:00迄  
 詳 細 URL：<http://jst.go.jp/cpse/sciencecamp/camp/>



## 監事候補者選挙中止のお知らせ

この度、本会監事選挙立候補を求めましたが、立候補がおりませんでしたので、監事候補者選挙を中止いたします。本会定款第23条に基づき、2015年4月開催予定の定時社員総会において選任いたします。

## 代議員選挙投票のご依頼

投票締切日 2014年12月31日(当日消印有効)

正員各位

代議員選挙立候補を求めたところ、下記の立候補がありましたので、関係する規程に基づき代議員の選挙を行います。本会ホームページの「情報公開」の「主要規程」に公開してある「代議員選挙規程」を予めご承知願います。よろしくご投票下さいようお願いいたします。

2014年12月1日

公益社団法人 日本金属学会

会長 新家 光雄

## 投票に際しての注意事項

- (1) 次の投票は無効になります。
  - 全ての地区について投票していないものは全て無効。
  - 地区別の選挙定数に過不足がある投票は全て無効。
  - 当該地区の立候補者以外の候補者を記載したものは全て無効。
  - 所定の用紙を使用していないものは全て無効(コピーなど)
  - 期日までに投票しなかったものは無効。
- (2) 投票用紙の候補者名または番号を○で囲み、投票用封筒にて送付下さい。
- (3) 投票は無記名です。投票用紙に記名しないで下さい。
- (4) 投票用封筒は本紙に綴じ込んであるものを使用の上、封筒の裏面に氏名・住所をご記入下さい。  
 この封筒にこの選挙の投票用紙以外のものを同封しないで下さい。



# 公益社団法人 日本金属学会代議員選挙投票用紙

投票締切日：2014年12月31日(当日消印有効)

## 投票に際しての注意事項

- (1) 次の投票は無効になります。  
 全ての地区について投票していないものは全て無効。  
 地区別の選挙定数に過不足がある投票は全て無効。  
 当該地区の立候補者以外の候補者を記載したものは全て無効。  
 所定の用紙を使用していないものは全て無効(コピーなど)。  
 期日までに投票しなかったものは無効。
- (2) 投票用紙の候補者名または番号に○を付け、投票用封筒にて送付下さい。
- (3) 無記名投票です。投票用紙に記名しないで下さい。
- (4) 投票用封筒は本紙に綴じ込んであるものを使用の上、封筒の裏面に氏名・住所をご記入下さい。  
 この封筒にこの選挙の投票用紙以外のものを同封しないで下さい。

会費支払い済の正員のみ投票できます

(敬称略：受付順)

\*全ての地区について、各地区の選挙定員数通りに、候補者名または番号を○で囲んで下さい。

<b>北海道地区代議員候補者</b>	<b>東海地区代議員候補者</b>
<b>選挙定員 2名(2名に○をつける)</b> 1 鵜飼重治 北海道大学大学院工学研究院教授 2 松浦清隆 北海道大学大学院工学研究院教授	<b>選挙定員 5名(5名に○をつける)</b> 1 浅野秀文 名古屋大学大学院工学研究科教授 2 伊崎昌伸 豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授 3 長島友孝 大同特殊鋼株式会社研究開発本部特殊鋼研究所所長 4 松本章宏 産業技術総合研究所研究グループ長 5 森元秀 トヨタ自動車株式会社技術設計部長
<b>東北地区代議員候補者</b>	<b>北陸信越地区代議員候補者</b>
<b>選挙定員 5名(5名に○をつける)</b> 1 大笹憲一 秋田大学理工学部教授 2 今野豊彦 東北大学金属材料研究所教授 3 蔡安邦 東北大学多元物質科学研究所教授 4 佐藤裕之 弘前大学理工学部教授 5 杉本論 東北大学大学院工学研究科教授	<b>選挙定員 2名(2名に○をつける)</b> 1 岸陽一 金沢工業大学高度材料科学研究開発センター教授 2 松田健二 富山大学大学院理工学研究部教授
<b>関東地区代議員候補者</b>	<b>関西地区代議員候補者</b>
<b>選挙定員 17名(17名に○をつける)</b> 1 細田秀樹 東京工業大学精密工学研究所教授 2 相浦直 ㈱神戸製鋼所アルミ銅事業部門担当部長 3 浅沼博 千葉大学大学院工学研究科教授 4 伊藤公久 早稲田大学基幹理工学部教授 5 今井潔 ㈱東芝電力・社会システム技術開発センター技術主幹 6 梅澤修 横浜国立大学大学院工学研究院教授 7 大堀學 早稲田大学創造理工学部非常勤講師 8 尾崎由紀子 JFE スチール㈱スチール研究所部長 9 木村薫 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授 10 小林政信 千葉工業大学工学部教授 11 神保至 東海大学工学部教授 12 錦織貞郎 ㈱IHI 経営企画部主幹 13 藤田雅 ㈱本田技術研究所四輪開発センター主任研究員 14 丸山俊夫 東京工業大学大学院理工学研究科教授・理事・副学長 15 水上英夫 新日鐵住金㈱プロセス研究所主幹研究員 16 御手洗容子 物質・材料研究機構グループリーダー 17 森田一樹 東京大学大学院工学系研究科教授 18 吉永直樹 新日鐵住金㈱技術開発本部部長	<b>選挙定員 7名(7名に○をつける)</b> 1 飴山 恵 立命館大学理工学部教授 2 梶原 桂 ㈱神戸製鋼所技術開発本部材料研究所室長 3 鴨志田 真一 日新製鋼㈱技術研究所主任研究員 4 白井泰治 京都大学大学院工学研究科教授 5 春名 匠 関西大学化学系生命工学部教授 6 藤本慎司 大阪大学大学院工学研究科教授 7 森 茂生 大阪府立大学大学院工学研究科教授
	<b>中国四国地区代議員候補者</b>
	<b>選挙定員 4名(4名に○をつける)</b> 1 佐々木 元 広島大学大学院工学研究院教授 2 岡田達也 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授 3 大庭卓也 島根大学大学院総合理工学研究科教授 4 川越崇史 日新製鋼㈱技術研究所主任研究員
	<b>九州地区代議員候補者</b>
	<b>選挙定員 2名(2名に○をつける)</b> 1 高島和希 熊本大学大学院自然科学研究科教授 2 中島邦彦 九州大学大学院工学研究院教授

役職等は届出書に基づいて記載しています。

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 78, No. 12 (2014)

塩化物系電解採取浴からの電析 Ni の明度、表面性状に及ぼす電解条件の影響

高橋 峻 佐藤佑樹 大上 悟 平郡伸一 中野博昭

Ti-5Al-2Fe-3Mo 合金の焼戻し組織に及ぼす予加工の影響

竹元嘉利 和田恵太 朝倉健太 瀬沼武秀

國枝知徳 藤井秀樹

シリコン含有鋼板の溶融亜鉛めっき焼鈍前酸化における硫化鉄の酸化促進効果

飛山洋一 多田雅彦 藤田 栄 竹山雅夫

Zr-Cu-Ni-Al 系金属ガラスの塑性変形能に及ぼす Au 添加の影響

山田昌弘 山崎 徹 藤田和孝

横山嘉彦 Do Hyang Kim

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 55, No. 12 (2014)

—Regular Articles—

Microstructure of Materials

Interfacial Structure of Erbium Oxide Layer on SUS316 Substrate Formed by MOCVD Method

Takayuki Shinkawa, Kenji Matsuda,

Yoshimitsu Hishinuma, Katsuhiko Nishimura,

Teruya Tanaka, Takeo Muroga and Takahiro Sato

Diffusion of Carbon in Niobium and Molybdenum

Jun-ichi Imai, Osamu Taguchi, Gyanendra Prasad Tiwari and Yoshiaki Iijima

Mechanics of Materials

Effect of Oxygen Content in WC-FeAl Powders on Microstructure and Mechanical Properties of Sintered Composites Fabricated by Pulse Current Sintering Technique

Ryoichi Furushima, Kiyotaka Katou, Setsuo Nakao,

Zheng Ming Sun, Koji Shimojima, Hiroyuki Hosokawa

and Akihiro Matsumoto

Materials Chemistry

Fabricating Silver Nanoparticles on Thin Silicon Nanowalls for Highly Sensitive Surface-Enhanced Raman Scattering

Shu Ning Wen and Jiann Shieh

Quantitative Nondestructive Evaluation of Plastic Deformation in Carbon Steel Based on Electromagnetic Methods

Hong-En Chen, Shejuan Xie,

Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto

and Kensuke Yoshihara

Calculation of Thermodynamic Properties of Cu-Ce Binary Alloy and Precipitation Behavior of Cu<sub>6</sub>Ce Phase

Haihong Li, Xueqin Sun and Shangzhou Zhang

Materials Processing

Effects of Casting Design and Reduced Pressure on Mold Filling of Molten Aluminum Alloy in Expendable Pattern Casting Process

Sadatoshi Koroyasu

Fabrication of Yttria Stabilized Zirconia-Silicon Carbide Composites with High Strength and High Toughness by Spark Plasma Sintering of Mechanically Milled Powders

Nurul Nadiah Mahmud,

Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama

Effect of Stress Field on Closure of Center Defects in Symmetric Rolling and Asymmetric Rolling of Round Billets

Tatsuro Katsumura, Takaaki Iguchi,

Hideto Kimura and Jun Yanagimoto

Parallel Implementation for Phase-Field Simulation of Flow Effect on Dendritic Growth with GPU Acceleration

Changsheng Zhu, Jinfang Jia,

Hong Zhang, Rongzhen Xiao and Li Feng

Textural Through-Thickness Inhomogeneity of Interstitial-Free Steel and Its Influence on Plastic Anisotropy Prediction

Anmin Yin, Quan Yang,

Fei He, Xiaochen Wang and Christ Glorieux

Thermodynamic Assessment of Fe-B-P-Cu Nanocrystalline Soft Magnetic Alloys for Their Crystallizations from Amorphous Phase

Akira Takeuchi and Akihiro Makino

Strategy for Electrodeposition of Highly Ductile Bulk Nanocrystalline Metals with a Face-Centered Cubic Structure

Isao Matsui, Yorinobu Takigawa,

Daisaku Yokoe, Takeharu Kato, Tokuteru Uesugi

and Kenji Higashi

Synthesis of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup> Luminescent Ceramic Powder Embedded in SiO<sub>2</sub> Matrix

María Luz Carrera Jota, Margarita García Hernández,

Antonieta García Murillo, Felipe de Jesús Carrillo Romo,

Ernesto Rivera Becerril, Angel de Jesús Morales Ramírez,

Haggeo Desirena Enriquez and Elder de la Rosa Cruz

—Express Regular Articles—

Influence of Oxygen Content on the Inclusion Formation and Pitting Corrosion Resistance of Hyper Duplex Stainless Steels

Soon-Hyeok Jeon, Do Haeng Hur, Hye-Jin Kim

and Yong-Soo Park

Electronic and Magnetic Properties of Mn<sub>2</sub>Sb<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub> (x = 0, 0.5, 1)

Takatoshi Kakimoto, Junya Goto,

Shinpei Fujii, Keiichi Koyama and Shoji Ishida

Separation of Tin, Silver and Copper from Waste Pb-free Solder Using Hydrochloric Acid Leaching with Hydrogen Peroxide

Sookyung Kim, Jae-chun Lee, Kwang-sek Lee,

Kyoungkeun Yoo and Richard Diaz Alorro



**Electrochemical Behavior of Type 316L Stainless Steel during Cyclic Deformation under Cell Culturing** Kotaro Doi, Sayaka Miyabe and Shinji Fujimoto

**Damping Capacities of Mg-(0-9)%Sn Casting Alloys** Joong-Hwan Jun

—Express Rapid Publication—

**Synthesis and Characterization of Mesoporous Silica from Anorthite-Clay Mineral: Role of Mechanical Activation** Junhyun Choi, Yosep Han, Donghyun Kim, Soyeon Park, Jayhyun Park, Jaikoo Park and Hyunjung Kim

**Compressive Properties of Aluminum Foams Produced by Replication Route using Spheroidal Calcium Chloride as Space Holder** J. A. Liu, F. Gao, Y. Q. Rao, C. L. Wu and Y. Liu

—Rapid Publications—

**Facile Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles with a High Specific Surface Area**

Jianchao Ma, Lingling Wang, Yanli Wu, Xianshu Dong, Qingliang Ma, Chen Qiao, Qingfang Zhang and Jilong Zhang

〈2014年機関誌総目次掲載について〉

★「まてりあ」「日本金属学会誌」「Materials Transactions」の本年の総目次は、各ジャーナルのホームページに掲載致します。



まてりあ 第54巻 第1号 予告

[最近の研究] ナノ析出を利用した鉄鋼材料の高強度化と高延性化 ……紙川尚也, 宮本吾郎, 古原 忠  
[講義ノート] 鉄鋼の相変態 I—初析フェライト成長における界面の平衡条件と  $\alpha/\gamma$  界面エネルギー— ……榎本正人

[新技術・新製品] 3編  
—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます。)

“材料系学協会情報コーナー”

〈ふえらむ 第19巻 第12号予定〉

入門講座 鋼の凝固入門13 溶接欠陥の発生機構と防止技術—形状と気候の制御—/清水弘之  
躍 動 高温熱物性に魅せられて/遠藤理恵  
解 説 水素脆化研究の基盤構築の進展と今後の展望/高井健一  
—他—

蒸気コーティング法によるマグネシウム合金上への耐食性皮膜の作製/神山直澄・石崎貴裕  
—他—

〈軽金属 第64巻 第12号予定〉

解 説 アルミニウムによる軽量化と静音化技術/杉本明男  
LM レビュー 小型ダイカストシステムによる同期一貫ライン/師岡将義  
連載講座 異種原子注入/柴山環樹・渡辺精一  
研究論文 Cuを含有するMg-9%Al合金のZn添加による耐食性改善/川畑博之・瀬口 剛  
摩擦粉末焼結法によるオープンセル型ポーラスアルミニウムの作製/半谷禎彦・石原綾乃・桑水流理・吉川暢宏  
铸造後圧延したAl-10%Si-0.3%Mg系合金铸件の時効硬化挙動/才川清二・森岡竜一・松田健二・寺山清志・池野 進

〈溶射 第51巻第4号(2014年10月)〉

研究論文 相互相関PIVにより得られる高速フレーム溶射とウォームスプレーの粒子群の速度と平均直径に関する考察/森田洋充, 片野田 洋  
速報論文 超音波洗浄処理によるコールドスプレー皮膜評価の検討/濱田幸隆, Yangfan Li, 乙部勝則, 西村信一, Teiichi Ando  
解 説 水素ガスを用いて高速フレーム溶射した鉄系金属ガラスの皮膜特性/坂田一則, 大関和正, 岡 大翼, 新屋康弘/緒方道子, 古賀義人, 成田一人, 宮原広郁  
防食溶射シリーズ 2/亜鉛・アルミニウム(ZnAl15)合金溶射皮膜の内部腐食機構とその評価方法

# 新 入 会 員

(2014年9月20日～2014年10月23日)

## 正 員

上 西 昇 株式会社アライドマテリアル 大 長 優 株式会社 IHI 宮 内 重 明 神鋼リサーチ株式会社  
木 村 浩 隆 株式会社鈴木商館 船 城 裕 二 東洋製鐵グループホールディングス株式会社  
蘇 益 士 京都大学 丸 岡 智 樹 京都市産業技術研究所

## 学 生 員

今 井 崇 智 岐阜大学 作 田 潤 紀 大同大学 久 井 重 志 近畿大学  
小 磯 尚 大 関西大学 末 永 圭 一 茨城大学 和 田 侑 己 近畿大学

## 外国学生会員

PAN Bo 大阪大学 YOU YULIU 東京大学生産技術研究所 Wang Han 東京大学



## 《2015年度会費お払い込みのお願い》

2015年度(2015年1月～12月)の会費納入時期となりましたので、下記いずれかの方法にてお早目にお手続き下さいます様お願い致します。

- ◎自動払込制度(ご登録の口座から引き落とし(2014年12月12日予定))
- ◎郵便振込
- ◎クレジットカード決済又はコンビニ決済(会員マイページよりご利用下さい)



## 書 評

### 船舶で躍進する新高張力鋼 —TMCP 鋼の実用展開—

北田博重 福井 努 共著

近年、海上物流の活発化にともない船舶の大型化が進む一方、高燃費化ならびに今後の環境規制に対応するために省エネルギー船(エコシップ)の開発が進められている。これら船舶の開発において船体構造用鋼の高強度化は不可欠であり、安全性や製造性との両立が求められている。船体構造用鋼の高強度化は、TMCP 技術のたゆまぬ発展およびこれに合わせた合金設計技術の進歩によって成し遂げられてきた。TMCP は制御圧延技術と制御冷却技術を組み合わせ、優れた機械的特性を引き出す鋼材の製造技術である。これにより製造された TMCP 鋼は1980年代に日本が世界に先駆けて開発・実用化し、日本の海事産業の成長・発展に大きく貢献した。また、最近ではコンテナ船の超大型化に対応するために TMCP 型極厚高強度鋼が新たに開発され実用化されている。

TMCP に関する書物はこれまでも多く出版されているが、プロ

セスや冶金的原理に焦点を当てた内容のものがほとんどであった。本書は、造船用 TMCP 鋼の高強度化や大入熱溶接の登場により母材や溶接継手の破壊靱性値がどのような考え方に基づいて取り決められ、船級規則に取り入れられて来たか、具体的データを掲載してわかりやすく解説している。最近のトピックスである大型コンテナ船の高アレスト鋼について、脆性亀裂伝播停止の概念、アレスト性能評価方法、アレスト設計までかなり詳しく解説されている。本書は、造船用 TMCP 鋼の学習に必要なエッセンスが全て盛り込まれており、これから造船分野にかかわる若手から中堅技術者にお勧めの書である。

(JFE スチール株式会社 鋼材研究部 長谷和邦)

[2014年 A5 判 308頁 4,600円+税 成山堂書店]

# 行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
<b>12月</b>				
1	Spring-8/SACLA コンファレンス2014～進化する光が拓く科学技術～(東京)	高輝度光科学研究センター・辻	TEL 0791-58-0949 sp8conf2014@spring8.or.jp	
3～4	第3回岩崎コンファレンス「磁気理工学のエネルギー分野への革新的展開」(東京)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com http://www.magnetics.jp/seminar/iwasaki/03.html	
3～5	第35回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(明治大)	超音波シンポジウム運営委員会・小野寺(東工大)	TEL 045-924-5598 terry@ip.titech.ac.jp http://use-jp.org	講演 8.4
4	技術交流フォーラム『画像処理・パターン認識が发展させる生物科学と材料工学』(名工大)(10号491頁)	東海支部・松永	<b>tokai@numse.nagoya-u.ac.jp</b>	定員 100名
4～5	電気加工学会全国大会(2014)(新潟大)	電気加工学会・田村(新潟大)	TEL 025-262-7016 take@eng.niigata-u.ac.jp http://www.jseme.or.jp/	
4～5	2014年度「先進コース」≪船用燃料とその燃焼≫講習会(東京)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
4～5	第6回つくば国際コーティングシンポジウム(つくば)	産総研, 物材機構・村上(物材機構)	TEL 029-859-2560 murakami.hideyuki@nims.go.jp	
4～5	第22回新粉未冶金入門講座(京都産業大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 inoue@jspm.or.jp	11.21
4～5	第52回高温強度シンポジウム(函館)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 http://www.jsms.jp/	講演 9.8
5	第51回 X線材料強度に関する討論会テーマ「非破壊評価の最前線」(名古屋)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 x51-touron@jsms.jp	
5	平成26年度材料セミナー「材料における拡散-基礎および鉄鋼材料における拡散と関連現象」(大阪)(10号492頁)	関西支部	<b>TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310</b> <b>n-kansai@ostec.or.jp</b>	定員 40名
6	平成26年度支部総会・連合講演会(新潟工科大)(10号491頁)	北陸信越支部・原亜(新潟大)	<b>TEL 025-262-6763</b> <b>sharada@eng.niigata-u.ac.jp</b> <b>http://hlab.eng.niigata-u.ac.jp/hpjin2014/</b>	講演 10.23
8	ワイヤレスエネルギー伝送技術～磁気工学の役割とバイオ医療応用～(中央大)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 http://www.magnetics.jp/seminar/topical/199.html	
8～10	第41回炭素材料学会年会(福岡)	炭素材料学会	TEL 03-5389-6359 tanso-desk@bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2014/	講演 8.25
10	第1回初心者にもわかる信頼性工学入門セミナー(大阪)	日本材料学会	http://sinrai.jsms.jp/	
10	第13回日本金属学会東北支部研究発表大会(岩手大)(11号572頁)	東北支部・吉澤(岩手大)	<b>TEL 019-621-6354 FAX 019-629-2847</b> <b>yoshizawa@iwate-u.ac.jp</b>	12.3
10	第19回資源循環型ものづくりシンポジウムIMS2014(名古屋)	第19回資源循環型ものづくりシンポジウム実行委員会	TEL 052-736-5680 ims@nipc.or.jp	
11～12	第28回信頼性シンポジウム-安心・安全を支える信頼性工学の新展開-(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 RESYMPO2014@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 9.12
11～13	走査型プローブ顕微鏡(28)&ICSPM22(静岡)	応用物理学会・小田	TEL 03-5802-0863 oda@jsap.or.jp http://dora.bk.tsukuba.ac.jp/event/ICSPM22/	論文 1.15
19	研究集会「第4回プラスチックに基づく変形現象研究会～双晶変形およびマルテンサイト変態～」(京大)(本号633頁)	研究会 No. 70・大石(京大)	<b>TEL 075-753-5573</b> <b>admin@esism.kyoto-u.ac.jp</b>	12.12
19	関西支部第16回塑性加工基礎講座「金属薄板の成形性試験(実習付き)」(京都工芸繊維大)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	12.4
20	2014年度計算力学技術者(CAE技術者)「1・2級」認定試験・講習会(東京)	日本機械学会・関根	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp	
20	平成26年度 高専女子フォーラム in 中国(広島)	国立高等専門学校機構他・白井(呉高専)	TEL 0823-73-8200 kikaku@kure-nct.ac.jp http://www.kosen-k.go.jp/kosengirl/jyoshi-forum/	
23	平成26年度 高専女子フォーラム in 関西(神戸)	国立高等専門学校機構他・端無(奈良高専)	TEL 0743-55-6012 s-soumu@jimu.nara-k.ac.jp http://www.kosen-k.go.jp/kosengirl/jyoshi-forum/	
25	平成26年度関西支部鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会第3回合同見学会(京大)(本号634頁)	関西支部・長谷川(京大)	<b>hasegawa.masakatsu.7r@kyoto-u.ac.jp</b> <b>TEL &amp; FAX 075-753-5431</b>	12.18
<b>2015年1月</b>				
8～9	第53回セラミックス基礎科学討論会(京都)	日本セラミックス協会基礎科学部会・藤井(龍谷大)	TEL 077-543-7466 ifujii@rins.ryukoku.ac.jp http://www.chem.ryukoku.ac.jp/kiso53	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
9	第64回レアメタル研究会(第2回貴金属シンポジウム)(東大)(11号574頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp	
10	第20回高専シンポジウム in 函館	高専シンポジウム協議会, 函館工業高等専門学校・神山(函館高専)	TEL 0138-59-6312 sohmuch@hakodate-ct.ac.jp http://www2.hakodate-ct.ac.jp/site1_symp/	発表 10.31
11~13	研究集会 第2回グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会(松江)(本号634頁)	研究会 No. 71・田中(産総研ユビキタスエネルギー)	TEL 072-751-9761 FAX 072-721-9714 koji.tanaka@aist.go.jp	12.5
13~14	第200回研究会 磁性材料の作製と評価手法~大型実験施設を用いた材料評価~(茨城)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 http://www.magnetics.jp/	
15	第55回海水環境構造物腐食防食研究会 電気化学ノイズ法を用いた現場腐食モニタリングに関する勉強会(小田原)	塩事業センター 海水総合研究所・中村	TEL 0465-47-3161 corrosion@swsj.org	
15	講習会「薄膜結晶の評価:基礎と応用」(東京)	日本結晶学会	TEL 03-5389-6372 crsj-desk@bunken.co.jp	
15~16	2014年度「先進コース」<推進軸系>講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
20	第371回講習会「ウェアラブル技術の最前線-「着る」機械の現在・過去・未来」(東京)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 http://www.jspe.or.jp/	定員 60名
22~23	第43回ガスタービンセミナー(横浜)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org	
29	海事三学会合同『次世代エコシップシンポジウム』-地球環境負荷低減と海洋環境技術開発-(東京)	日本航海学会他	TEL 03-3630-3093 navigation@nifty.com https://www.rdcast.com/c/i/60	1.19
29~30	平成26年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同講演大会開催(11号572頁)	北海道支部・田中(新日鐵住金)	TEL 0143-47-2651 FAX 0143-47-2760 tanaka.9qh.shigeo@jp.nssmc.com	
30~31	ゲートスタック研究会 ー材料・プロセス・評価の物理ー(三島)	応用物理学会・三谷(東芝)	yuuichiro.mitani@toshiba.co.jp http://home.hiroshima-u.ac.jp/oxide/	定員 200名
<b>2月</b>				
6	第10回SPring-8金属材料評価研究会-最近の注目技術紹介-(東京)	SPring-8利用推進協議会 研究開発委員会・橋本	TEL 0791-58-0924 kinzoku@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ext/ja/iuss/	1.30 定員 70名
6	第208回塑性加工技術セミナー「塑性加工のための高張力鋼板の基礎-材質造り込みから加工技術まで」(大同大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
13	走査型プローブ顕微鏡の最新活用術(川崎)	神奈川科学技術アカデミー	TEL 044-819-2033 ed@newkast.or.jp http://www.newkast.or.jp	定員 20名
26~27	2014年度「先進コース」<機装設計II>講習会(高松)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
28	日本顕微鏡学会第39回関東支部講演会「革新のための基礎技術-Basic for Innovation-(工学院大)」	日本顕微鏡学会・物材機構(三留)	TEL 029-860-4431 MITOME.Masanori@nims.go.jp	1.13
<b>3月</b>				
5	第30回塗料・塗装研究発表会(東大)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 toso-jimukyoku@jcot.gr.jp http://jcot.gr.jp	
6	2015年度砥粒加工学会先進テクノフェア(ATF2015)(東京)	砥粒加工学会	TEL 03-3362-4195 staff@jsat.or.jp http://www.jsat.or.jp	定員 100名
13	第65回レアメタル研究会(東大)(11号574頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp	
17	2015年春期講演大会・企業説明会(東大)(11号560頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 gaffair@jim.or.jp	11.10~ 2.10
18~20	日本金属学会春期講演大会(東京大学駒場I地区キャンパス)(本号629頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp(講演) TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 member@jim.or.jp(参加申込)	公募12.5 一般・ポスター・共同 12.15 参加 2.20
<b>5月</b>				
21~22	第32回希土類討論会(鹿児島)	日本希土類学会(阪大内)	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	発表 1.23
29~31	平成27年度塑性加工春季講演会(横浜)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
<b>7月</b>				
7~10	The Fifth International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2015)(富士吉田)	粉体工学会・多々見(横国大)	iccci2015@ml.ynu.ac.jp http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2015/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
<b>8月</b>				
16~20	The 13th World Conference on Titanium (Ti-2015)チタン世界会議2015(サンディエゴ)	The Minerals, Metals and Materials Society (TMS), USA・新家(東北大金研)	TEL 022-215-2574 niinomi@imr.tohoku.ac.jp http://www.tms.org/meetings/2015/Ti2015/home.aspx#.VE85Emflrcs	アブストラクト 12.15
<b>9月</b>				
6~11	XVIII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2015) (Kyoto)	ISGS & J. Sol-Gel Society	TEL 075-753-2925 solgel2015@kuchem.kyoto-u.ac.jp http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/solgel2015/	
16~18	日本金属学会秋期講演大会(九州大学伊都キャンパス)	日本金属学会	<b>annualm@jim.or.jp</b> <b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b>	
<b>10月</b>				
5~8	Asia Steel International Conference 2015(Asia Steel 2015) (横浜)	日本鉄鋼協会	asiasteel2015@issjp.com http://www.asiasteel2015.com	

◇ 事務局年末年始休業のお知らせ ◇

2014年12月29日(月)~2015年1月5日(月)



◇事務局より◇

~ 本年は大変お世話になりました。来年もどうぞ宜しくお願い致します。~

**2013, 2014年度会報編集委員会** (五十音順, 敬称略)

委員長	古原 忠						
副委員長	御手洗容子						
委員	赤瀬善太郎	阿部世嗣	池田賢一	池田大亮	石川和宏	石丸 学	
	石本卓也	磯部繁人	井手拓哉	上杉徳照	上田恭介	上田正人	
	太田道広	大津直史	大塚 誠	大沼郁夫	大野宗一	奥村圭二	
	小澤俊平	川喜多 仁	菊池丈幸	菊地竜也	北嶋具教	小泉雄一郎	
	好田 誠	小林正和	小山佳一	佐々木泰祐	佐藤和久	佐藤 尚	
	篠田弘造	柴田曉伸	清水崇行	杉浦夏子	須藤祐司	高木秀有	
	高橋 淳	竹田 修	田中真悟	田中秀明	田中將己	垂水竜一	
	寺山 朗	仲井正昭	中野正基	仲道治郎	中村貴宏	中田博土	
	柳楽知也	南島 晋	長谷崎和洋	波多 聡	畠山賢彦	廣澤渉一	
	廣本祥子	藤原航三	古澤孝之	細川裕之	本間智之	松尾元彰	
	松八重一代	三浦永理	水内 潔	水口 隆	光原昌寿	水本将之	
	宮岡裕樹	村石信二	村上浩二	森戸茂一	山崎倫昭	山田高広	
	山室佐益	湯蓋邦夫					

まてりあ 第53巻 第12号 (2014) 定価(本体1,700円+税) 120円  
年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所	公益社団法人日本金属学会	発行日	2014年12月1日
	〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32	発行人	梶原義雅
	TEL 022-223-3685	印刷所	小宮山印刷工業株式会社
	FAX 022-223-6312	発売所	丸善株式会社
	郵便振替口座 02210-2-5592		〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18

『バイオマテリアル研究の最前線』

—2014年10月発行—



- ◆ 日本発の最新バイオマテリアル研究がこの一冊に濃縮！
- ◆ 金属系バイオマテリアルを中心にセラミックス系，高分子系，細胞，  
計算機シミュレーションまで広くカバー！
- ◆ 手元には非置いておきたい渾身の一冊！

成島尚之・中野貴由編

版型・頁 A4判 約300頁

定価 (5,900円+税)国内送料 700円

発行 公益社団法人日本金属学会

日進月歩のバイオマテリアル研究を行うには，学問分野や研究領域を越えた  
広く深い理解が必要である．そのため研究の最前線を理解することは必ずしも  
容易ではない．本書は2000年以降の日本発の最先端・最重要研究である116報  
の原著論文と9冊の書籍を取り上げ，83名の新進気鋭の研究者の手で，それ  
ぞれのエッセンスを2ページに凝縮し，その後の進展も踏まえつつ解説する  
ことでバイオマテリアル研究のバイブルとした．

本書は，(第1章)総合書にみるバイオマテリアル研究の基礎と最前線，(第2章)チタン系バイオマテリアル研究の最前線，(第3章)コバルト・クロム系バイオマテリアル研究の最前線，(第4章)その他の金属系バイオマテリアル研究の最前線，(第5章)セラミックス系・高分子系バイオマテリアル研究の最前線，(第6章)表面処理・形状制御研究の最前線，(第7章)骨組織・骨組織再生研究の最前線，(第8章)細胞ならびに細胞外基質制御研究の最前線，(第9章)バイオマテリアルならびに生体組織への計算機シミュレーション研究の最前線，により構成されている．初心者から専門家まで教科書・参考書として幅広く活用できるおすすめの一冊となっている．

申込方法：書名，部数，送本先，氏名を明記の上，E-mailまたはFAXにてお申し込み下さい．代金は送本時に請求させていただきます．

申込・問合せ先：〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

公益社団法人日本金属学会 企画・会員サービスグループ

TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: ordering@jim.or.jp

「バイオマテリアル研究の最前線」申込書

お名前	
会員番号(会員の方のみ)	
送付先住所/所属機関	〒
TEL/FAX	
メールアドレス	
ご購入冊数	冊

## 光化学の事典

光化学協会光化学の事典編集委員会 編  
 A5判・436頁  
 2014年刊行  
 定価(本体12,000円+税)  
 株式会社朝倉書店  
 ISBN: 978-4-254-14096-5  
 〒162-8707  
 東京都新宿区新小川町6-29  
 TEL: 03-3260-7631(営業)  
 FAX: 03-3260-0180  
 URL: <http://www.asakura.co.jp/>



光化学は光を吸収して起こる反応などを取り扱い、対象とする物質が有機化合物と無機化合物の別を問わず多様で、広範囲で応用されている。正しい基礎知識と、人類社会に貢献する重要な役割・可能性を約200のキーワード別に平易な記述で網羅的に解説。〔内容〕様々な化合物の光化学/光化学と生活・産業/他。

## 高分子添加剤分析ガイドブック

西岡利勝 編  
 A5判・288頁 2014年刊行  
 定価(本体7,400円+税)  
 株式会社朝倉書店  
 ISBN: 978-4-254-25268-2  
 〒162-8707  
 東京都新宿区新小川町6-29  
 TEL: 03-3260-7631(営業)  
 FAX: 03-3260-0180  
 URL: <http://www.asakura.co.jp/>



耐久性や物性の改良のためにプラスチック等の合成高分子に加えられた様々な添加剤の分析方法を分かりやすく解説。  
 [内容] 意義と目的/添加剤分析に使用する測定方法/前処理/各種添加剤の分析法/成形品における添加剤の状態分析。

## 有害物質分析ハンドブック

鈴木茂・石井善昭・上堀美知子・  
 長谷川敦子・吉田寧子編  
 B5判・304頁 2014年刊行  
 定価(本体8,500円+税)  
 株式会社朝倉書店  
 ISBN: 978-4-254-14095-8  
 〒162-8707  
 東京都新宿区新小川町6-29  
 TEL: 03-3260-7631(営業)  
 FAX: 03-3260-0180  
 URL: <http://www.asakura.co.jp/>



環境中や廃棄物、食品や製品・材料に含まれる化学物質の分析・特定は安全な社会生活の基盤を築くために必須である。現在分析手法に対して、より高い精度やスピードが求められている。化学物質を特定するためのシナリオ作りから、適切な分析方法の選択、実際の分析方法まで具体的に・実践的にまとめた。

## 自動車の軽量化テクノロジー

材料・成形・接合・強度・燃費・電費性能の向上を目指して

山根 健、ほか全34名 著  
 B5判・342頁 2014年5月刊行  
 定価 37,000円(税別)  
 株式会社エヌ・ティー・エス  
 ISBN: 978-4-86043-411-3  
 〒102-0091 東京都千代田区  
 北の丸公園2-1 科学技術館2階  
 TEL: 03-5224-5295  
 FAX: 03-5224-5407  
 URL: <http://www.nts-book.co.jp/>



自動車についての軽量化材料の開発、強度・補強化技術から、成形・接合・シミュレーション技術、各種部材の軽量化事例や最新動向など、燃費・電費性能向上の鍵を握る最新軽量化技術を詳しく解説。安全/快適/コストとの両立を目指し、より進化する自動車軽量化技術の今を掘り下げて詳解します。

## 電気電子機能材料(改訂3版)

一ノ瀬昇 編著  
 A5判・280頁  
 2014年8月刊行  
 定価 2,800円(税別)  
 オーム社  
 ISBN: 978-4-274-21594-0  
 〒101-8460  
 東京都千代田区神田錦町3-1  
 TEL: 03-3233-0853  
 FAX: 03-3233-3440  
 URL: <http://www.ohmsha.co.jp/>



改訂3版となる本書は、昨今注目を集めている半導体材料と磁性体材料を強化しています。LEDなどの発光材料や、有機ELなどで話題の有機半導体、最近進歩の著しいスピントロニクスなども取り上げ、環境材料や非鉛系圧電材料についても網羅し、機能性材料の全体像がわかります。

## 国別 鉱物・エネルギー資源データブック

西山孝・別所昌彦・前田正史 共編  
 A4判・1120頁  
 2014年10月刊行  
 定価 85,000円(税別)  
 オーム社  
 ISBN: 978-4-274-21632-9  
 〒101-8460  
 東京都千代田区神田錦町3-1  
 TEL: 03-3233-0853  
 FAX: 03-3233-3440  
 URL: <http://www.ohmsha.co.jp/>



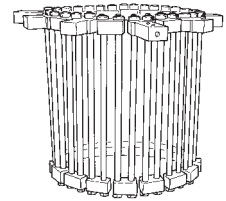
本書は『鉱物資源データブック』『エネルギー資源データブック』(オーム社)の姉妹書。U.S Geological Surveyや国連、資源エネルギー庁など国内外の資源統計資料より収集した鉱物とエネルギー資源に関する各種データを国別(234か国)に一覧表にまとめました。

# 高純度 GfG

## 汚れや飛散のないカーボン材料

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

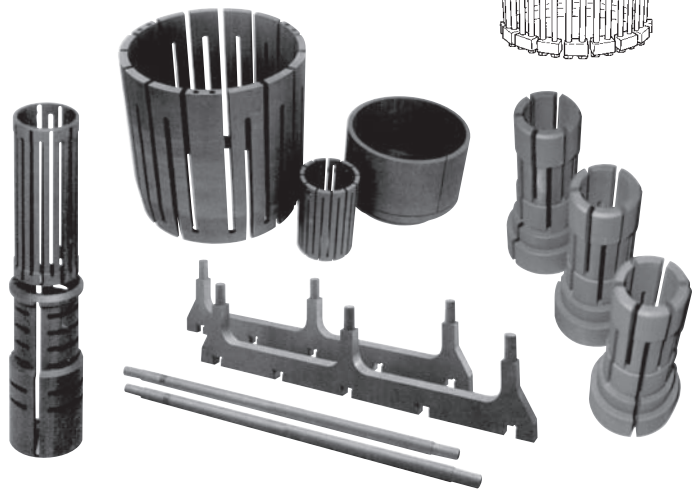


■真空、高温炉内材料一式

■炉内部品取替工事

■炭素繊維高温材料

- カーボンヒーター
- 炭素繊維断熱材
- 炉内サポート治具
- 機械用カーボン
- 連続鑄造ノズル
- ホットゾーン改修工事



## メカニカルカーボン工業株式会社

本社・工場：〒247-0061 神奈川県鎌倉市台 5-3-25 TEL.0467(45)0101 FAX.0467(43)1680(代)  
 事業所：東京 03(5733)8601 大阪 06(6586)4411 福岡 092(626)8745  
 周南 0834(82)0311 松山 0899(72)4860 郡山 024(962)9155  
 工場：広見工場 0895(46)0250 野村工場 0894(72)3625 新潟工場 0254(44)1185  
<http://www.mechanical-carbon.co.jp> E-mail: mck@mechanical-carbon.co.jp

## 試験雰囲気ガス中の酸素濃度のコントロール・測定に!!

高濃度 ( $10^5 \text{PaO}_2$ ) から極低濃度 ( $10^{-25} \text{PaO}_2$ ) まで酸素をコントロール測定します。

### 酸素分圧 & 雰囲気制御試験炉



NEW

管状炉付酸素分圧  
コントローラー

SiOAF-200C

- 簡便な GUI によりタッチパネル、ネットワーク、PC から容易に温度、雰囲気、酸素分圧等のプログラムパターン運転が可能です。
- 酸素分圧コントロールユニット (オプション) の付加により高濃度 ( $10^5 \text{Pa}$ ) から極低濃度 ( $10^{-25} \text{Pa}$ ) までの酸素分圧を制御できます。
- 最大3ガス種までの雰囲気ガスを接続し、任意のタイムプログラムにて雰囲気調整できます。
- 均熱長 120mm / 1ゾーン制御炉から均熱長 300mm の3ゾーン制御炉まで対応できます。

SiOC-200CB  
(循環型)



### 酸素分圧コントローラー

- 本装置はジルコニア式酸素ポンプに不活性ガスを流し、ガス中の酸素濃度を制御します。
- 酸素濃度のコントロールは酸素ポンプと酸素センサーを組み合わせた PID 式フィードバック回路により制御されます。
- 不活性ガス中の酸素濃度は  $10^5 \sim 10^{-25} \text{PaO}_2$  (タイプ C 循環型) の範囲で制御します。

特注品(流量、試料処理部付/イメージ炉、真空チャンバー)などにも対応します。

SiOS-200C  
(コンパクトタイプ)



### 高感度酸素センサー

- 極低酸素分圧領域  $10^5 \sim 10^{-25} \text{Pa}$  における研究開発に使用できます。
- 高分解能測定回路の採用により、測定レンジの切替をせずに、広範囲酸素分圧をダイレクト測定できます。
- 測定ガスサンプリングポンプを付属したタイプ (SiOS-200P) も揃えています。



走査型オージェ電子分光分析装置 Auger Electron Spectroscopy

# PHI 710 *Scanning Auger Nanoprobe*



## 特 徴

- ・ アコースティックエンクロージャにより、50万倍での元素分析を実現
- ・ 同軸円筒鏡型電子分光器 (CMA: Cylindrical Mirror Analyzer) による高感度・高スループット分析
- ・ 高エネルギー分解能測定に対応
- ・ フローティングイオン銃により高パフォーマンスの深さ方向分析が可能
- ・ 帯電中和により絶縁物分析の可能性が拡大
- ・ Windows対応ソフトウェアにより、容易な測定と高度な解析が可能

**アルバック・ファイ株式会社**

本社・工場 〒253-8522 茅ヶ崎市円蔵370番地 TEL: 0467-85-4220 (国内営業部) FAX: 0467-85-4411  
大阪営業所 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3-3-31 上村ニッセイビル5階 TEL: 06-6350-2670 FAX: 06-6350-2980

[www.ulvac-phi.com](http://www.ulvac-phi.com)